



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

2

**«Διερεύνηση εδαφικών υποχωρήσεων λόγω
υπεράντλησης στο δήμο Αμυνταίου»**



Αγγελίτσα Βαρβάρα

Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός

Επιβλέπων Καθηγητής

Δ. Ρόζος

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ»
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αγγελίτσα Βαρβάρα

Επιβλέπων Καθηγητής : Δ. Ρόζος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

?

?

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 2011

Δ. Ρόζος, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γ. Τσιαμπάος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. Λουπασάκης, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δ. Ρόζο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, καθώς επίσης και για τις ουσιαστικές συμβουλές του.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον κ. Κ. Λουπασάκη, Λέκτορα ΕΜΠ, για την συνεχή και υπομονετική καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Γ. Τσιαμπάο για την σημαντική συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας, παρά το φόρτο εργασίας του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Π. Γιαννουλόπουλο, Υδρογεωλόγο, για την πολύτιμη βοήθεια του, τις γνώσεις και τις οδηγίες του για την πραγματοποίηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την Δ. Σίδερη, Υποψήφια Διδάκτωρ (PhD), για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το οικογενειακό και το στενό φιλικό μου περιβάλλον για την στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας.

ΑΘΗΝΑ, 2011

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | 3 |
| ΣΥΝΟΨΗ | 12 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 13 |
| ABSTRACT..... | 16 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 18 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ..... | 20 |
| 1.1 Γενικά Στοιχεία..... | 20 |
| 1.2 Φαινόμενο εδαφικών υποχωρήσεων..... | 20 |
| 1.2.1 Ανάλυση του μηχανισμού εκδήλωσης..... | 22 |
| 1.2.2 Παραδείγματα από τον Ελλαδικό χώρο..... | 26 |
| 1.2.3 Παραδείγματα από χώρες του εξωτερικού..... | 35 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ -ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ..... | 47 |
| 2.1 Γενικά στοιχεία..... | 47 |
| 2.2 Γεωγραφική τοποθέτηση..... | 47 |
| 2.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά..... | 48 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ..... | 55 |
| 3.1 Γενικά στοιχεία..... | 55 |
| 3.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής..... | 55 |
| 3.3 Νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων στη Δυτική Μακεδονία..... | 61 |
| 3.3 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας..... | 65 |
| 3.4 Τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής..... | 69 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ..... | 73 |
| 4.1 Γενικά στοιχεία..... | 73 |
| 4.2 Σεισμικότητα της περιοχής..... | 73 |
| 4.3 Σεισμική επικινδυνότητα – σεισμικός κίνδυνος..... | 75 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ..... | 79 |
| 5.1 Γενικά στοιχεία..... | 79 |
| 5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας..... | 79 |
| 5.3 Πιεζομετρικές συνθήκες των υπόγειων υδροφόρων της περιοχής έρευνας..... | 81 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ .. | 88 |
| 6.1 Γενικά στοιχεία..... | 88 |
| 6.2 Ιστορικό εμφάνισης εδαφικών παραμορφώσεων..... | 88 |
| 6.3 Χωρική κατανομή εδαφικών διαρρήξεων..... | 89 |
| 6.3.1 Εδαφικές διαρρήξεις στους Αναργύρους..... | 89 |

| | | |
|--|--|-----|
| 6.3.2 | Εδαφικές διαρρήξεις στα Βαλτόνερα | 101 |
| 6.3.3 | Εδαφικές διαρρήξεις στο Φανό..... | 107 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ..... | | 115 |
| 7.1 | Γενικά στοιχεία..... | 115 |
| 7.2 | Περιγραφή Του Προγράμματος Plaxis V8 Professional | 115 |
| 7.2.1 | Εισαγωγή δεδομένων (Input)..... | 116 |
| 7.2.3 | Υπολογισμοί (Calculations) | 127 |
| 7.2.4 | Πρόγραμμα αποτελεσμάτων (output)..... | 129 |
| 7.3 | Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά σχηματισμών περιοχής | 130 |
| 7.4 | Περιγραφή των μοντέλων προσομοίωσης που επιλέχθηκαν στην περιοχή | 132 |
| 7.5 | Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης..... | 136 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | | 150 |
| 8.1 | Προτάσεις- Μέτρα Αντιμετώπισης του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων ... | 153 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | | 155 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α..... | | 162 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β..... | | 190 |

ΕΙΚΟΝΕΣ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1.1: Η πλημμυρισμένη παράκτια ζώνη κοντά στις εκβολές του Γαλλικού (Ρόζος,2007). | 28 |
| Εικόνα 1.2: Η ανύψωση τμήματος ποτίστρας και η αποκοπή του από το υπόλοιπο τμήμα λόγω των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλοχωρίου Θεσσαλονίκης (Ρόζος, 2007). | 29 |
| Εικόνα 1.3: Εδαφικές διαρρήξεις σε δρόμο στην περιοχή των Φαρσάλων, Δυτικής Θεσσαλίας (Σίδερη, 2008). | 32 |
| Εικόνα 1.4: Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα στην περιοχή των Φαρσάλων, Δυτικής Θεσσαλίας (Σίδερη, 2008). | 33 |
| Εικόνα 1.5: Εδαφικές διαρρήξεις σε οδόστρωμα στον οικισμό του Σταυρού, στη Δυτική Θεσσαλία (Σίδερη, 2008). | 33 |
| Εικόνα 1.6: Εδαφικές διαρρήξεις σε οδόστρωμα στον οικισμό του Σταυρού, στη Δυτική Θεσσαλία (Σίδερη, 2008). | 34 |
| Εικόνα 1.7: Βλάβες σε εξωτερική σκάλα οικίας λόγω των εκτεταμένων υποχωρήσεων (Κουμαντάκης κ.ά., 2008). | 35 |
| Εικόνα 1.8: Συσχέτιση γραμμής εισπίεσης νερού και αποκατάστασης επιφάνειας εδάφους (Ρόζος, 2007). | 37 |
| Εικόνα 1.9: Εκδήλωση επιφανειακών ρωγμών, λόγω του φαινομένου της υπεράντλησης στην Αριζόνα των Η.Π.Α. (ALSG, 2007). | 38 |
| Εικόνα 1.10: Ζημιές που προκαλούνται από διαφορικές μετακινήσεις του εδάφους Μπανγκόκ (Phien-wej et. al., 2006). | 44 |
| | |
| Εικόνα 2.1: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής (από το Google Earth). | 47 |
| Εικόνα 2.2: Δορυφορική εικόνα στην οποία επισημαίνεται η θέση της περιοχής έρευνας με τους οικισμούς Αετός, Φανός, Βαλτόνερα, Πεδινό, Ανάργυροι (από το Google Earth). | 48 |
| Εικόνα 2.3: Δορυφορική εικόνα στην οποία απεικονίζονται οι τέσσερις λίμνες (Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών και Βεγορίτιδα) της περιοχής καθώς και η ενωτική διώρυγα Ζάζαρης-Χειμαδίτιδας και το κανάλι που ενώνει εν συνεχεία την λίμνη Χειμαδίτιδα με την λίμνη Πετρών (από Google Earth). | 51 |
| Εικόνα 2.4: Άποψη των πρανών του ορυχείου Αμυνταίου. Παρουσιάζεται η διαμόρφωση των πρανών με αναβαθμούς μεγάλου πλάτους (Λουπασάκης, 2006). | 52 |
| Εικόνα 2.5: Άποψη των πρανών του ορυχείου Αμυνταίου, ενώ πίσω φαίνεται και το χωριό των Αναργύρων (Απρίλιος 2011). | 52 |
| | |
| Εικόνα 5.1: Χάρτης με το δίκτυο γεωτρήσεων που μετρήθηκε τον μήνα Απρίλιο του 2011. .. | 83 |
| Εικόνα 5.2: Ισοπιεζομετρικός χάρτης περιόδου Απρίλιος 2011. | 84 |
| Εικόνα 5.3: Ισοπιεζομετρικός χάρτης περιόδου Μάιος 1992, Δημητρακόπουλος, 2001, προσαρμοσμένος σε δορυφορική εικόνα για την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. | 85 |
| Εικόνα 5.4: Ισοπιεζομετρικός χάρτης πτώσης στάθμης από το Μάιο 1992 μέχρι τον Απρίλιο 2011. | 87 |
| | |
| Εικόνα 6.1: Δορυφορική εικόνα του οικισμού Αναργύρων πάνω στην οποία επισημάνθηκαν εδαφικές διαρρήξεις (από Google Earth). | 91 |
| Εικόνα 6.2: Δορυφορική εικόνα των Αναργύρων στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση (από Google Earth). | 92 |
| Εικόνα 6.3: Δορυφορική εικόνα του οικισμού Αναργύρων σε σχέση με το ορυχείο πάνω στην οποία επισημάνθηκαν εδαφικές διαρρήξεις (από Google Earth). | 99 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 6.4: Δορυφορική εικόνα πλησίον του ορυχείου στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση (από Google Earth). | 99 |
| Εικόνα 6.5: Δορυφορική εικόνα που απεικονίζει τις αστοχίες πλησίον του ορυχείου Αμυνταίου και είναι κάθετες στις τεκτονικές γραμμές (από Google Earth)..... | 100 |
| Εικόνα 6.6: Δορυφορική εικόνα του οικισμού των Βαλτόνερων πάνω στην οποία επισημάνθηκαν εδαφικές διαρρήξεις (από Google Earth)..... | 102 |
| Εικόνα 6.7: Δορυφορική εικόνα των Βαλτόνερων στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση (από Google Earth). | 102 |
| Εικόνα 6.8: Δορυφορική εικόνα του δρόμου που ενώνει τους Αναργύρους με τα Βαλτόνερα στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση (από Google Earth). | 106 |
| Εικόνα 6.9: Δορυφορική εικόνα του Φανού πάνω στην οποία επισημάνθηκαν εδαφικές διαρρήξεις (από Google Earth)..... | 110 |
| Εικόνα 6.10: Δορυφορική εικόνα του Φανού στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση (από Google Earth)..... | 110 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 7.1: Γραμμή εργαλείων και εντολών του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων..... | 117 |
| Εικόνα 7.2: Παράθυρο εργασίας του προγράμματος Plaxis. | 117 |
| Εικόνα 7.3: Παράθυρο γενικών ρυθμίσεων του προγράμματος Plaxis. | 117 |
| Εικόνα 7.4: Παραδείγματα γενικών ρυθμίσεων για την προσομοίωση των μοντέλων. | 119 |
| Εικόνα 7.5: Προσδιορισμός γεωμετρικού μοντέλου και εισαγωγής συνοριακών συνθηκών. | 119 |
| Εικόνα 7.6 : Παράθυρο εισαγωγής μηχανικών δεδομένων που απαιτούνται για τον μηχανισμό Mohr Coulomb και συνθηκών προσομοίωσης, καθώς και φυσικών χαρακτηριστικών. | 124 |
| Εικόνα 7.7: Παράθυρο επιλογής τιμής ειδικού βάρους του νερού..... | 125 |
| Εικόνα 7.8: Παράθυρο εμφάνισης τιμών του συντελεστή ουδέτερης ωθήσεως K_0 | 127 |
| Εικόνα 7.9: Προβολή γεωμετρίας απλού μοντέλου προσομοίωσης. | 132 |
| Εικόνα 7.10: Παρουσίαση συνολικών μετακινήσεων για το απλό μοντέλο προσομοίωσης για πτώση στάθμης 10m και 30m, αντίστοιχα. | 133 |
| Εικόνα 7.11: Παρουσίαση κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων για το απλό μοντέλο προσομοίωσης για πτώση στάθμης 10 m και 30 m, αντίστοιχα..... | 134 |

ΣΧΗΜΑΤΑ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1.1: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου (II), (Ρόζος, 2007). | 22 |
| Σχήμα 1.2: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου (I), (Ρόζος, 2007). | 23 |
| Σχήμα 1.3: Απλουστευμένος μηχανισμός εδαφικής υποχώρησης και γένεσης εδαφικών ρωγμών λόγω της υπεράντλησης των υπόγειων υδάτων (από Keller & Blodgett, 2006)..... | 24 |
| Σχήμα 1.4: Διαφορική υποχώρηση και γένεση ρωγμών (α) στα περιθώρια της λεκάνης, (β) σε περιοχή πλευρικής λιθολογικής ασυνέχειας (Τσούρλος κ.α.,2007)..... | 26 |
| Σχήμα 1.5: Τοποθεσία της περιοχής μελέτης (Londquist, 1993)..... | 39 |
| Σχήμα 1.6: Σχηματική απεικόνιση του υδροφόρου ορίζοντα στην κατεύθυνση βορρά-νότου της Μπανγκόκ (Τροποποιημένο μετά Pianchareon, 1976). | 41 |

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1.7: Εδαφική υποχώρηση και πιεζομετρική αναλήψεις από υδροφορείς συναρτήσει του χρόνου. (α) Νοτιοανατολική περιοχή. (β) Νοτιοδυτική περιοχή Μπανγκόκ (Phien-wej et. al., 2006)..... | 42 |
| Σχήμα 1.8: Εδαφική υποχώρηση του εδάφους συναρτήσει του χρόνου σε διάφορες περιοχές της Μπανγκόκ Μπανγκόκ (Phien-wej et. al., 2006)..... | 42 |
| Σχήμα 1.9: Συσχέτιση άντλησης υπογείων υδάτων σε σχέση με τον χρόνο στην πεδιάδα Μπανγκόκ (Phien-wej et. al., 2006)..... | 43 |
| Σχήμα 1.10: Πιεζομετρικές επιφάνειες σε υδροφορέα του Nakorn Λουάνγκ το 2002 Μπανγκόκ (Phien-wej et. al., 2006)..... | 43 |
| Σχήμα 2.1: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός των Αναργύρων (Γ.Υ.Σ, 1981)..... | 53 |
| Σχήμα 2.2: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός των Βαλτόνερων (Γ.Υ.Σ, 1981)..... | 53 |
| Σχήμα 2.3: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός του Πεδινού (Γ.Υ.Σ, 1981)..... | 54 |
| Σχήμα 2.4: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός του Φανού (Γ.Υ.Σ, 1981). | 54 |
| Σχήμα 3.1: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων Ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοτική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος Ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα << Ταλέα όρη - Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι>> πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Μουντράκης, 1985). | 56 |
| Σχήμα 3.2: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική - τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1-5:Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού. 1: φλύσσης Άνω Μαιστριχτίου – Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο - λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, 7 - 9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού - Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, 10 - 14 : πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετα - κροκαλοπαγή, 12: μετα - ψαμμίτες, μετα - αρκόζες, 13:φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετα - ρυόλιθοι, μετα - τόφφοι, 15: γενεσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16 - 20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υπόβαθρου Παλαιοζωικής ή και προ - Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμβιβολιτικοί, επιδοσιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί – γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμβιβολίτες, 19: γενεύσιοι, 20: οφθαλμογενεύσιοι. Η διάρθρωση της Πελαγονικής ζώνης (Μουντράκης, 1985). | 57 |
| Σχήμα 3.3: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, απόσπασμα φύλλου “ Πτολεμαΐδα ”, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1997. | 60 |
| Σχήμα 3.4: Τεκτονικός χάρτης της περιοχής με πληροφορίες για το πεδίο των νεοτεκτονικών τάσεων. (1) εφελκυστική φάση Τεταρτογενούς, (2) εφελκυστική φάση Ανώτερου Μειόκαινου- Πλειόκαινου, (3) μηχανισμοί ρηγμάτων με συμπιεστική συνιστώσα τάσης, (4) γενική διεύθυνση τεταρτογενούς εφελκυσμού, όπου δεν έχουν υπολογιστεί οι κινηματικοί άξονες, (5) γενική διεύθυνση συμπίεσης, (6) διεύθυνση εφελκυσμού από in situ μετρήσεις των τάσεων (Pavlidis & Mountrakis, 1987). | 63 |
| Σχήμα 3.5: Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων τάσης και το πεδίο των τεκτονικών τάσεων του Ελλαδικού χώρου. Σύνθεση από μηχανισμούς γένεσης επιφανειακών σεισμών, τεκτονική ανάλυση πρόσφατων και ενεργών ρηγμάτων και in situ μετρήσεις τάσεων. (1) όρια λιθοσφαιρικής βύθισης (subduction), ζώνη συμπίεσης εξωτερικά του Ελληνικού τόξου, (2) οριζόντιες προβολές των διανυσμάτων κίνησης, (3) οι κύριοι άξονες τάσεων, συμπίεση (P), ενδιάμεσος (B), εφελκυσμός (T) προσδιορισμένοι από μηχανισμούς | |

| | |
|--|-----|
| γένεσης σεισμών, (4),(5) οι κύριοι άξονες τάσεων προσδιορισμένοι από νεοτεκτονική ανάλυση, (6) άξονες εφελκυσμού από in situ μετρήσεις τάσεων, (7) προβλεπόμενες δ/νσεις ρηγμάτων στο Β. Αιγαίο, (8) ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (Από Παυλίδης, 1985)..... | 64 |
| Σχήμα 3.6: Γεωλογικές τομές του κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου (Κούκουζας κ.α., 1979,1981)..... | 68 |
| Σχήμα 3.7: Σκαρίφημα συσχέτισης των στρωματογραφικών στηλών στις περιοχές Κομνηνών – Αναργύρων – Αρδάσσας (Κούκουζας κ.α., 1979,1981)..... | 69 |
| Σχήμα 3.8: Στατιστική ανάλυση για τον προσδιορισμό των διευθύνσεων, των κλίσεων και του είδους των διαρρήξεων της ευρύτερης περιοχής: 1. Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων, 2.Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων, 3. Διάγραμμα του μέτρου των κλίσεων, 4. Διάγραμμα δ/νσης της κίνησης (0ο τυπική κίνηση οριζόντιας μετατόπισης, 90ο τυπική κανονική κίνηση) (Παυλίδης, 1985). | 70 |
| Σχήμα 3.9: Ροδοδιαγράμματα παρατάξεων: 1. Ρήγματα στους ασβεστόλιθους των περιθωρίων της λεκάνης, 2. Ρήγματα στα πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα, 3. Σύγκριση των δύο ομάδων ρηγμάτων στο ίδιο διάγραμμα απ' όπου προκύπτει η σχεδόν απόλυτη ταύπισή τους (Παυλίδης, 1985). | 70 |
| Σχήμα 3.10: Συνοπτικός τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής, όπου φαίνονται τα ροδοδιαγράμματα παράταξης των μετρηθέντων ρηξιγενών επιφανειών: 1, 2, 3: διαρρήξεις στους τριαδικοϊουρασικούς ασβεστόλιθους, 4: νεοτεκτονικές διαρρήξεις σε ιζήματα (Παυλίδης, 1985). | 72 |
| | |
| Σχήμα 4.1: Οι κινήσεις των πλακών, οι οποίες επηρεάζουν την ενεργό τεκτονική στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές (Parazachos et al., 1997c). | 73 |
| Σχήμα 4.2: Γεωγραφική κατανομή επικέντρων επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές (Parazachos, 1999)..... | 74 |
| Σχήμα 4.3: Χωρική κατανομή σεισμών όλων των μεγεθών που καταγράφηκαν σε ακτίνα 20 km γύρω από την περιοχή έρευνας από το 1901 μ.χ. έως το 2005 μ.χ. (Για τους σεισμούς με μέγεθος μικρότερο του 2 στον πίνακα δεν αναφέρεται τιμή μεγέθους. Στο χάρτη οι σεισμοί αυτοί επισημαίνονται με το σύμβολο που αντιστοιχεί σε σεισμούς με μέγεθος από 0-2), (Λουπασάκης, 2006)..... | 75 |
| Σχήμα 4.4: (α) Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης του συστήματος ρηγμάτων Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας, (β) Η γενική κινηματική των ρηγμάτων του συστήματος και οι θέσεις των κινηματικών αξόνων (τετράγωνο: άξονας έκτασης, ρόμβος: άξονας σμίκρυνσης), (γ) οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών της περιοχής, οι οποίοι παρουσιάζουν παρόμοια διεύθυνση μέγιστης έκτασης (από Mountrakis et al., 2006). | 77 |
| Σχήμα 4.5: Οι τρεις κατηγορίες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας. Αναθεωρημένος χάρτης Ζωνών, Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154Β'/12-8-2003/Αποφ. Δ17α/115/9/ΦΝ275). | 78 |
| | |
| Σχήμα 5.1: Σχηματικό διάγραμμα εκμετάλλευσης και αποστράγγισης ορυχείου (Δημητρακόπουλος, 2001). | 80 |
| | |
| Σχήμα 6.1: Εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών στα περιθώρια λεκάνης λόγω της διαφορικής υποχώρησης που προκαλείται από υπεράντληση, Τσούρλος, 2007..... | 109 |
| Σχήμα 6.2: Ρωγμές λόγω εδαφικής υποχώρησης σε σπίτια του οικισμού Αετού, (Σούλιος κ.ά.,2011)..... | 114 |

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 7.1: Σημεία υπολογισμού των τάσεων και κόμβοι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων..... | 118 |
| Σχήμα 7.2: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου κατά Mohr-Coulomb..... | 120 |
| Σχήμα 7.3: Κύκλοι του Mohr στην διαρροή..... | 121 |
| Σχήμα 7.4: Προβολή παραθύρου εισαγωγής εδαφικών σχηματισμών στην προσομοίωση των μοντέλων..... | 122 |
| Σχήμα 7.5: Προβολή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων των δυο μοντέλων προσομοίωσης..... | 123 |
| Σχήμα 7.6: Προβολή στάθμης υδροφόρου ορίζοντα και κλειστών ορίων στερεοποίησης.... | 126 |
| Σχήμα 7.7: Προβολή κατανομής υδροστατικού πεδίου στο μοντέλο προσομοίωσης..... | 126 |
| Σχήμα 7.8: Προβολή κατανομής αρχικών ενεργών τάσεων της προσομοίωσης για το μοντέλο με το ρήγμα..... | 127 |
| Σχήμα 7.9: Παραδείγματα εισαγωγής φάσεων κατασκευής στα μοντέλα προσομοίωσης, στο υποπρόγραμμα υπολογισμών..... | 129 |
| Σχήμα 7.10: Παρουσίαση κατανομής συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m..... | 137 |
| Σχήμα 7.11: Παρουσίαση κατανομής κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m..... | 138 |
| Σχήμα 7.12: Τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m, που δείχνει τις κατακόρυφες μετακινήσεις..... | 139 |
| Σχήμα 7.13: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m..... | 139 |
| Σχήμα 7.15: Προβολή κατανομής υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 40m..... | 140 |

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

| | |
|---|----|
| Φωτογραφία 6.1: Αστοχία έχει καταστρέψει οικία στους Αναργύρους (Θέση αστοχίας 1). | 93 |
| Φωτογραφία 6.2: Συνέχεια της αστοχίας στη θέση 1 η οποία πλήττει μάντρα που είχε γκρεμιστεί και ξαναχτίστηκε, στον οικισμό των Αναργύρων (Θέση αστοχίας 2). | 93 |
| Φωτογραφία 6.3: Παραμορφώσεις σε οίκημα στους Αναργύρους..... | 94 |
| Φωτογραφία 6.4: Αστοχία σε οικία που είναι χτισμένη πάνω στο ρήγμα των Αναργύρων. Παρά την σχετική επιδιόρθωση που έχει υποστεί ο τοίχος της οικίας η αστοχία επανεκδηλώθηκε. Αντίστοιχες διαρρήξεις παρατηρούνται σε όλα τα σπίτια που βρίσκονται στην ίδια ευθεία (Θέση αστοχίας 3). | 94 |
| Φωτογραφία 6.5: Αστοχία σε περιφραξη οικίας και πεζοδρόμιο από τις εδαφικές διαρρήξεις (Θέση αστοχίας 4). | 95 |
| Φωτογραφία 6.6: Διαγώνιες ρωγμές σε τοιχοποιία οικίας κοντά στον κεντρικό δρόμο των Αναργύρων (Θέση αστοχίας 5)..... | 96 |
| Φωτογραφία 6.7: Ρωγμές στην εξωτερική τοιχοποιία οικίας κοντά στο ρήγμα των Αναργύρων (Θέση αστοχίας 6). | 96 |

| | |
|---|-----|
| Φωτογραφία 6.8: Εφελκυστική ρωγμή σε εξωτερική τοιχοποιία οικίας τον μήνα Μάρτιο του 2006..... | 97 |
| Φωτογραφία 6.9: Εφελκυστικές ρωγμές σε εξωτερική τοιχοποιία οικίας που βρίσκεται τον Απρίλιο του 2011 (Θέση αστοχίας 7)..... | 97 |
| Φωτογραφία 6.10: Βάθρο γεώτρησης που έχει ανυψωθεί στον οικισμό των Αναργύρων..... | 98 |
| Φωτογραφία 6.11: Σωλήνας γεώτρησης που έχει ανυψωθεί λόγω διαφορικής παραμόρφωσης με το βάθος..... | 98 |
| Φωτογραφία 6.12: Αστοχία και το αντίστοιχο άλμα που εμφανίζεται κατά μήκος του δρόμου δίπλα από το ορυχείο Αμυνταίου (Θέση αστοχίας 1). | 100 |
| Φωτογραφία 6.13: Αστοχία κατά μήκος του δρόμου στο δρόμο των Αναργύρων κοντά στο ορυχείο Αμυνταίου (Θέση αστοχίας 2). | 101 |
| Φωτογραφία 6.14: Έντονες αστοχίες σε σκεπή και τοίχο αποθήκης στα Βαλτόνερα (Θέση αστοχίας 1). | 103 |
| Φωτογραφία 6.15: Ρωγμές σε τοιχοποιία νεόκτιστης οικίας στα Βαλτόνερα (Θέση αστοχίας 2). | 103 |
| Φωτογραφία 6.16: Αστοχίες που εμφανίζονται στην τοιχοποιία στάβλου παρά την επιδιόρθωση που έχουν υποστεί στο χωριό Βαλτόνερα. | 104 |
| Φωτογραφία 6.17: Αστοχίες που πλήττουν οικία στα Βαλτόνερα, Ιούλιος 2009..... | 105 |
| Φωτογραφία 6.18: Η οικία της Φώτο 6.17, που το 2009 είχε αστοχίες και ρωγμές, τελικά κατεδαφίστηκε, Απρίλιος 2011 (Θέση αστοχίας 3)..... | 105 |
| Φωτογραφία 6.19: Θέση αστοχίας 1, Αστοχία που έχει προκαλέσει απώλεια κατακορυφότητας στις κολώνες..... | 106 |
| Φωτογραφία 6.20: Αστοχία κατά μήκος του δρόμου (Θέση αστοχίας 2). | 107 |
| Φωτογραφία 6.21: Διάρρηξη με άλμα, που εμφανίζεται κατά μήκος του δρόμου (Θέση αστοχίας 3). | 107 |
| Φωτογραφία 6.22: Αστοχία στον κεντρικό δρόμο(Θέση αστοχίας 1). | 111 |
| Φωτογραφία 6.23: Η ασυνέχεια που τέμνει τα χωράφια, έχει προκαλέσει απώλεια κατακορυφότητας στις κολώνες της ΔΕΗ (Θέση αστοχίας 1)..... | 111 |
| Φωτογραφία 6.24: Εφελκυστικές αστοχίες σε κτίριο, συνέχεια της ασυνέχειας στα βόρεια του χωριού (Θέση αστοχίας 2). | 112 |
| Φωτογραφία 6.25: Λεπτομέρεια της Φώτο 6.24, άποψη της ρωγμής το εύρος της οποίας έχει φτάσει στα 4-4.5 εκατοστά (Θέση αστοχίας 2). | 112 |
| Φωτογραφία 6.26: Ασυνέχεια τέμνει το χωριό και έχει προκαλέσει (βαριές και ελαφριές) ζημιές σε οικίες και περιφράξεις (Θέση αστοχίας 3). | 113 |
| Φωτογραφία 6.27: Ρωγμές σε κτίριο μέσα στο χωριό Φανός (Θέση αστοχίας 4). | 113 |

ΠΙΝΑΚΕΣ

| | |
|---|-----|
| Πίνακας 7.1: Τιμές εδαφικών παραμέτρων που εισήχθησαν για την προσομοίωση των εδαφικών υλικών..... | 131 |
| Πίνακας 7.2: Τιμές εδαφικών παραμέτρων που εισήχθησαν για την προσομοίωση των εδαφικών υλικών..... | 131 |
| Πίνακας 7.3: Τιμές οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων για πτώσεις στάθμης στα -10m και στα -30m, αντίστοιχα..... | 134 |
| Πίνακας 7.4: Τιμές διαφορικών μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους (0m) συναρτήσει της πτώσης στάθμης του Υ.Ο. για τα διάφορα ποσοστά αναλογίας άμμου/αργίλου στα μοντέλα προσομοίωσης με το ρήγμα. | 142 |
| Πίνακας 7.5: Τιμές κατακόρυφων μετακινήσεων, όπως προέκυψαν από τις κατακόρυφες τομές του μοντέλου των Αναργύρων για πτώση στάθμης Υ.Ο 10 m και 20 m. | 148 |

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αναφέρεται στην διερεύνηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αμυνταίου του νομού Φλώρινας, που γειτνιάζει με το ορυχείο Αμυνταίου. Η περιοχή έρευνας, στην οποία παρατηρείται το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων, περιλαμβάνει τους οικισμούς Αναργύρων, Βαλτόνερων, Φανού, Αετού και Πεδινού.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής και προκειμένου να διερευνηθεί ο μηχανισμός εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων λόγω υπεράντλησης υδροφόρων μελετήθηκε το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής που αποτελεί βασική παράμετρο για το είδος των σημειούμενων υποχωρήσεων, ενώ παράλληλα έγινε η καταγραφή των εδαφικών διαρρήξεων που εντοπίστηκαν εντός αλλά και εκτός των ορίων των οικισμών.

Στην συνέχεια και με βάση την κριτική συναξιολόγηση των επιτόπου ερευνών και των βιβλιογραφικών στοιχείων, έγιναν διδιάστατες παραμετρικές αναλύσεις, με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis.

Ο σκοπός των αναλύσεων αυτών είναι η αξιολόγηση των κατακόρυφων και συνολικών μετακινήσεων των εδαφικών υποχωρήσεων μέσα από τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των προηγηθέντων ερευνών στην περιοχή. Επιπλέον, οι αναλύσεις αυτές βοήθησαν στην διερεύνηση της συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών του οικισμό των Αναργύρων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Συχνά, σε περιπτώσεις μεγάλης έκτασης υπερεκμετάλλευσης – υπεράντλησης ενός υδροφόρου ορίζοντα, που οδηγεί σε σημαντική πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας, παρατηρούνται φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων του εδάφους (land subsidence).

Τέτοια φαινόμενα, καθώς και η σχέση μεταξύ της πτώσης της στάθμης και του ρυθμού υποχώρησης του εδάφους, έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί πολλά χρόνια πριν και σε διάφορα μέρη του κόσμου. Οι εδαφικές υποχωρήσεις αυτές οφείλονται στη μείωση της πίεσης των πόρων, στην αύξηση των ενεργών τάσεων και συνεπώς στη συμπίεση του υδροφορέα.

Υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα εκδήλωσης του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και σε χώρες του εξωτερικού, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές.

Εδαφικές υποχωρήσεις συναντώνται και στην ευρύτερη περιοχή του νομού Φλωρίνης, η οποία αποτέλεσε και περιοχή έρευνας για την παρούσα εργασία. Ανήκει στον δήμο Αμυνταίου και εκτείνεται δυτικά του ορυχείου Αμυνταίου και βορειοανατολικά της λίμνης Χειμαδίτιδας και της λίμνης Ζάζαρης. Εντός των ορίων της περιοχής εντοπίζονται πέντε οικισμοί. Από τους οικισμούς αυτούς, ο Φανός και ο Αετός βρίσκονται στα βόρεια της περιοχής στους πρόποδες του όρους Βίτσι, οι Ανάργυροι στα νότια της περιοχής στις παρυφές λοφώδους έξαρσης διαμορφωμένης από την δράση του ομώνυμου ρήγματος, ενώ στο πεδινό κομμάτι της περιοχής βρίσκονται οι οικισμοί Βαλτόνερων και Πεδινού.

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας - Πτολεμαΐδας εντοπίζεται εντός των ορίων της Πελαγονικής ζώνης. Η στρωματογραφία των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων της περιοχής έρευνας διέπεται από τους νόμους που καταγράφονται στο σύνολο των υπολεκανών που απαρτίζουν την μεταξύ Κοζάνης και Αμύνταιου περιοχή. Δηλαδή, οι Νεογενείς αποθέσεις διακρίνονται: α. στην Ανώτερη σειρά (υπερκείμενη των λιγνιτών), β. στην Λιγνιτοφόρο σειρά και γ. στην Κατώτερη σειρά (υποκείμενη των λιγνιτών). Ενώ, οι Τεταρτογενείς Αποθέσεις αποτελούνται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις κροκαλοπαγών χαλαρών και συνεκτικών, ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών, άμμων, αργίλων με ποικίλης σύστασης κροκάλες ασβεστολιθικές, σχιστολιθικές, περιδοτιτικές, διαβασικές και κερατολιθικές.

Οι οικισμοί της περιοχής έρευνας είναι θεμελιωμένοι στις πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης και στα κροκαλοπαγή και τις χαλαρές ερυθρές πηλούς του Τεταρτογενούς.

Η νεοτεκτονική και σύγχρονη τεκτονική δράση της περιοχής είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αντίστοιχη δράση του ευρύτερου Ελληνικού χώρου (Αιγαίο και γύρω περιοχές), η οποία βρίσκεται κάτω από ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο που δρα από το Μέσο- Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Οι δύο επικρατούσες διευθύνσεις των ρηγμάτων της περιοχής είναι ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΑ-ΝΔ ως ΑΒΑ-ΔΝΔ. Μία από τις κύριες τεκτονικές γραμμές που δεσπόζουν στη δομή της περιοχής είναι το μεγάλο ρήγμα της Βεγορίτιδας, η παράταξη του οποίου είναι ΒΒΑ-ΝΝΔ. Στη συνέχεια του ρήγματος Βεγορίτιδας, με μια προς τα νοτιοανατολικά μετατόπιση εντοπίζεται το ρήγμα των Αναργύρων. Το ρήγμα των Αναργύρων έχει την ίδια διεύθυνση παράταξης με αυτό της Βεγορίτιδας, διέρχεται μέσα από τον οικισμό των Αναργύρων και αναπτύσσεται προς τα νοτιοδυτικά οριοθετώντας τη λίμνη Χειμαδίτιδα.

Η περιοχή έρευνας σύμφωνα με τον τροποποιημένο Αντισεισμικό Κανονισμό ΕΑΚ-2000 ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι (χαμηλή σεισμικότητα).

Όσον αφορά τις υδρολογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές, αναφέρεται ότι ο προσχωματικός υδροφόρος ορίζοντας της λεκάνης Αμυνταίου-Χειμαδίτιδας-Πετρών αναπτύσσεται εντός των τεταρτογενών αποθέσεων. Η υπεράντληση του συνόλου του υδροφόρου έχει σαν αποτέλεσμα, τη δραστική μείωση των υδροαποθεμάτων και τη σταδιακή ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας στο σύνολο της έκτασης του υδροφόρου. Η έντονη ταπείνωση της στάθμης προκαλεί φαινόμενα καθιζήσεων λόγω της ανακατανομής των γεωστατικών τάσεων.

Η διαφοροποίηση του πάχους των τεταρτογενών αποθέσεων εξαιτίας της ύπαρξης των ρηγμάτων, εφόσον συνδυαστεί με την εκδήλωση των καθιζήσεων από τις υπεραντλήσεις προκαλεί σημαντικές ανωμαλίες στην επιφάνεια του εδάφους.

Προκειμένου να διερευνηθούν αναλυτικότερα οι πιεζομετρικές συνθήκες των υπόγειων υδροφόρων πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2011 επίσκεψη στην περιοχή έρευνας. Κατά την επίσκεψη αυτή μετρήθηκαν οι στάθμες σε γεωτρήσεις προϋπαρχόντων δικτύων προκειμένου να καταστεί δυνατή η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής της στάθμης τους. Επιπλέον μετρήθηκαν οι στάθμες και σε νέες θέσεις προκειμένου να εμπλουτιστούν τα νέα δεδομένα κατά το δυνατό περισσότερο.

Από την σύγκριση των ισοπιεζομετρικών χαρτών των ετών 1992 και 2011 προκύπτει ότι αν και η μορφή των πιεζομετρικών καμπύλων δεν έχει εξαιρετικά

σημαντικές διαφορές, εντούτοις εμφανίζεται μια πτώση στάθμης κοντά στο ορυχείο της τάξεως των 45-50 m.

Οι εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή έρευνας λόγω αντλήσεων του υδροφόρου ορίζοντα έχουν αρχίσει να εκδηλώνονται εδώ και μια δεκαετία, όπως διαπιστώνεται από βιβλιογραφικές πηγές καθώς και από την αποτύπωσή τους σε φωτογραφικό υλικό. Όπως προέκυψε από την επί τόπου παρατήρηση της περιοχής έρευνας εντονότερες εδαφικές διαρρήξεις και με μεγαλύτερο ρυθμό εξέλιξης παρατηρούνται στους οικισμούς πλησίον του ορυχείου Αμυνταίου. Οι εδαφικές διαρρήξεις είναι παράλληλες στις τεκτονικές γραμμές.

Για την εκτίμηση του μηχανισμού εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων λόγω υπεράντλησης υδροφόρων έγιναν διδιάστατες παραμετρικές αναλύσεις, με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis.

Ο σκοπός των αναλύσεων αυτών είναι να αξιολογήσει μέσα από τα αποτελέσματα τους τις κατακόρυφες και συνολικές μετακινήσεις των διαφορετικών εδαφικών υποχωρήσεων. Επιπλέον, οι αναλύσεις αυτές έγιναν για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών του οικισμού των Αναργύρων.

ABSTRACT

Often, in cases of massive overexploitation - over-pumping aquifers, leading to a significant drop in piezometric surface phenomena observed landslide (land subsidence).

Such phenomena, and the relationship between the fall of the level and rate of soil subsidence have been observed and studied many years ago in various parts of the world. Land subsidences are due to reducing the pressure of resources, increasing effective stress and thus compression of the aquifer.

There are too many examples of expressions of the phenomenon of land subsidence both in Greece and abroad, according to literature sources.

Land subsidences are found in the area of the prefecture of Florina, which served as the study area for this work. It belongs to the municipality Amyntaio and extends west of the mine Amyndeou Xeimaditida northeast of Lake and Lake Zazari. Within the region identified five villages. Of these land subsidences, Fanos and Aetos's northern region in the foothills of mountain, the Anargyroi in southern hilly area on the outskirts of disease modulated by the action of the homonymous fault, while the flat part of the region are the villages and swamps lowland.

The region of Florina basin - Ptolemais located within the Pelagonian zone. The stratigraphy of the Neogene and Quaternary sediments of the survey area is governed by the laws recorded in all sub-basins that make up between Kozani and Amyntaio region. Namely, the Neogene deposits are distinguished: a. Higher order (overlying the lignites), b. lignite sequence and c. Low range (subject of lignite). While the Quaternary Overburden consisting of alternating layers of loose conglomerates and coherent, sandstones, psifidopagon, sands, clays with variable composition shingles limestone, slate, peridotitikes, diavasikes and keratolithikes. The settlements of the survey area is founded on recent alluvial deposits of the basin and conglomerates and loose red clay of the Quaternary.

The Neotectonics and contemporary tectonic activity in the region is directly related to the action of the wider Greek area (Aegean Sea and surrounding areas), which is under an extensive Tensile field acting on the Intermediate-Upper Miocene to the present. The two prevailing directions of the faults of the area is NW-SE to NNW-SSE and NE-SW to ENE-WSW. One of the main tectonic lines that dominate

the structure of the region is the great fault Vegoritida, the party which is NNE-SSW. Then the fault Vegoritida, with a shift to the southeast lies the fault of Anargyroi. The fracture of Anargyroi has the same address as that of marshaling Vegoritida, passing through the settlement of Anargyroi and deployed to the south bordering Lake Xeimaditida.

The study area according to the revised Seismic Regulations RDI-2000 belongs to the seismic hazard zone I (low seismicity).

Regarding hydrogeological conditions in the survey area, according to literature sources indicates that the alluvial aquifer of the basin-Amyntaio Xeimaditida-Petrwn developed within the quaternary deposits. The abstraction of all the water has resulted in, drastically reducing ydroapothematon and progressive humiliation of the piezometric surface in the whole area of the aquifer. The intense level of humility causes subsidence phenomena due to the redistribution of geostationary trends.

The modulation of the thickness of quaternary deposits due to the presence of faults, when combined with the onset of subsidence caused by over pumping significant abnormalities on the surface.

To investigate further the conditions of piezometric groundwater aquifers took place in April 2011 visit to the area of research. During this visit, the levels measured in wells pre-existing networks in order to allow the study of longitudinal change in the level. Furthermore the measured levels and new positions to enrich the new data as possible.

Comparing the maps isopiezometrikon the years 1992 and 2011 shows that though the form of contour curves is not very significant differences, however, show a drawdown near the mine in the order of 45-50 m.

The territorial break in the investigation because pumping of the aquifer has begun to occur over a decade, as evidenced by bibliographic sources and capture them in photographs. As revealed by in situ observation of more pronounced soil survey area burglaries and higher rate of progression seen in villages near the mine Amyntaio. The territorial fractures are parallel to the tectonic lines.

To assess the mechanism of expression of territorial decline because of over aquifers were two-dimensional parametric analysis, using the finite element program Plaxis.

The purpose of these tests is to evaluate the results through the vertical movement of differential territorial concessions. Furthermore, those tests were to investigate the behavior of soil formations settlement Anargyroi.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η εντατική άντληση των υπόγειων νερών για να ικανοποιήσει την αστική, βιομηχανική, ή/και γεωργική ζήτηση, τείνει να δημιουργήσει μεγάλες πτώσεις της στάθμης του υδροφόρου και να προκαλεί εδαφικές υποχωρήσεις και ρωγμώσεις ανάλογα με τη γεωλογική, λιθολογική και υδρογεωλογική κατάσταση των υδροφόρων. Τα φαινόμενα αυτά αρχικά αποδίδονταν σε τεκτονικά ή άλλα αίτια (π.χ. η αποξήρανση) αλλά τις τελευταίες δεκαετίες είναι όλο και πιο κοινά αποδεκτό ότι αν και τα φαινόμενα αυτά συνδέονται με τεκτονικά στοιχεία η ενεργοποίηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων και ρωγμώσεων οφείλεται κατά κύριο λόγο στην υπερεκμετάλλευση των και στην πτώση στάθμης των υπόγειων νερών.

Η παρούσα εργασία στηρίχθηκε εν πολλοί σε βιβλιογραφικά δεδομένα, καθώς και στις παρατηρήσεις που προέκυψαν από την επιτόπου επίσκεψη της περιοχής έρευνας. Στα πρώτα κεφάλαια παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας καθώς και το υλικό που προέκυψε από την επίσκεψη της περιοχής έρευνας.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μια συνοπτική αναφορά στο γενικότερο μηχανισμό εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων. Παράλληλα παρατίθενται και παραδείγματα τόσο από τον Ελλαδικό χώρο όσο και από χώρες του εξωτερικού.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναφέρονται τα γεωγραφικά όρια και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, η οποία εντοπίζεται στα σύνορα Κοζάνης – Φλώρινας, μεταξύ του ορυχείου Αμυνταίου και της λίμνης Χειμαδίτιδας.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στην γεωλογία της ευρύτερης περιοχής καθώς και της στενής περιοχής έρευνας και στο τεκτονικό καθεστώς, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η σεισμικότητα και η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής έρευνας, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στο υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής καθώς και στις υδρολογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές και με στοιχεία επιτόπου μετρήσεων.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρατίθεται πλούσιο φωτογραφικό υλικό από την επί τόπου παρατήρηση της περιοχής, δίνοντας μια καθαρή εικόνα της κατάστασης και της έκτασης του φαινομένου.

Στο κεφάλαιο 7, γίνεται μία προσπάθεια εκτίμησης του μηχανισμού εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων λόγω υπεραντλησης υδροφόρων. Για τον λόγο αυτό έγιναν διδιάστατες παραμετρικές αναλύσεις, με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis.

Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με τη παράθεση των κυριότερων συμπερασμάτων που αφορούν το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων, λόγω υπεραντλήσεων στην περιοχή έρευνας, καθώς και με την πρόταση μέτρων αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού, όπου είναι αυτά εφαρμόσιμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

1.1 Γενικά Στοιχεία

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε με στόχο την διερεύνηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αμυνταίου του νομού Φλώρινας, που γειτνιάζει με το ορυχείο Αμυνταίου. Οι εδαφικές υποχωρήσεις στην περιοχή είναι ένα συνεχώς εξελισσόμενο φαινόμενο, καθώς οι αστοχίες που υπάρχουν στην επιφάνεια του εδάφους και τις κατασκευές αναπτύσσονται συνεχώς, ενώ παράλληλα εμφανίζονται και νέες.

Από γεωπολιτικής πλευράς, η ευρύτερη περιοχή εμφάνισης των εδαφικών υποχωρήσεων, περιλαμβάνει τους οικισμούς Αναργύρων, Βαλτόνερων, Φανού, Αετού και Πεδινού.

Για να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων λόγω υπεράντλησης υδροφόρων γίνεται στη συνέχεια συνοπτική αναφορά στο γενικότερο μηχανισμό εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων. Παράλληλα παρατίθενται και παραδείγματα τόσο από τον Ελλαδικό χώρο όσο και από χώρες του εξωτερικού.

1.2 Φαινόμενο εδαφικών υποχωρήσεων

Σύμφωνα με τον Ρόζο (2007) οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίς οποιαδήποτε εξωτερική παρέμβαση, παραμένουν στο καθεστώς ισορροπίας στο οποίο βρίσκονται. Όμως, στην κατάσταση αυτή μπορεί να επέλθουν αλλαγές, είτε λόγω υποβιβασμού της στάθμης υπόγειου ρευστού, είτε λόγω αφαίρεσης της υποστήριξης σε μία υπόγεια στοά, π.χ. σε μία στοά μεταλλείου.

Στην παραπάνω περίπτωση οι βαρυτικές ή τεκτονικές δυνάμεις που ασκούνται στους σχηματισμούς που εντάσσονται στη ζώνη αποστράγγισης ή υπέρκεινται της υπόγειας εκσκαφής, τείνουν να μεταβάλλουν το καθεστώς ισορροπίας.

Οι παραμορφώσεις που σχετίζονται ή όχι με το χρόνο, σε συνδυασμό με τον κερματισμό των πετρωμάτων, προκαλούν υποχώρηση των υπερκείμενων σχηματισμών κάποιου υπόγειου ανοίγματος προς αυτό. Στη συνέχεια η υποχώρηση

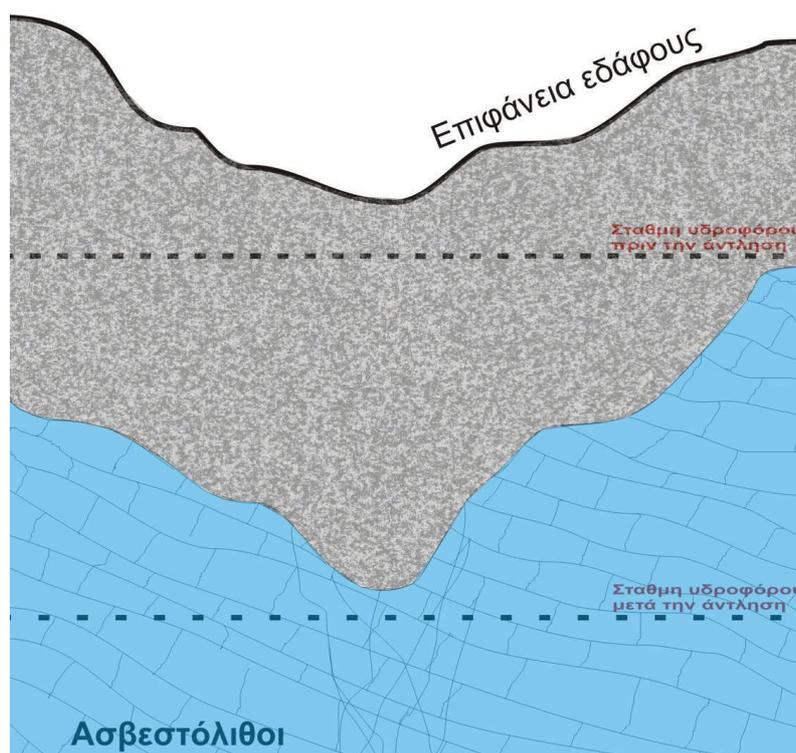
αυτή μεταναστεύει προς την επιφάνεια, προκαλώντας εδαφικά βυθίσματα ποικίλου μεγέθους. Η συμπύκνωση ή η κατάρρευση αυτή ονομάζεται εδαφική υποχώρηση.

Οι εδαφικές υποχωρήσεις (Subsidence) διαφοροποιούνται από τις καθιζήσεις (Settlements) ή την στερεοποίηση των αργίλων (consolidation of clays), καθώς σε αυτή την περίπτωση αναφερόμεθα σε προβλήματα επιβολής πρόσθετης (εξωτερικής) φόρτισης.

Συνεπώς, η εδαφική υποχώρηση είναι ο υποβιβασμός της επιφάνειας του εδάφους λόγω αλλαγών είτε στη στάθμη κάποιου υπόγειου ρευστού είτε στη μεταβολή της αντοχής του εδάφους, λόγω αφαίρεσης υποστήριξης αυτού σε συγκεκριμένη θέση. Γενικά ο υποβιβασμός της στάθμης του υπόγειου νερού ισοδυναμεί, στην περίπτωση εδαφικών σχηματισμών και με προφόρτιση των οριζόντων που θα απαλλαγούν από την παρουσία του.

Το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων είναι λιγότερο έντονο στους αδρομερείς σχηματισμούς (όπως άμμοι, άμμοι με ψηφίδες, αμμοχάλικα, κ.ά.), καθώς η κίνηση του νερού είναι εύκολη λόγω της υψηλής διαπερατότητάς τους, οπότε ενεργοποιούνται οι παράμετροι δρώσας τάσης του σχηματισμού, λόγω δε του σημαντικού μεγέθους των κόκκων και σχήματος, οι υποχωρήσεις δεν είναι σημαντικές. Αντίθετα, στους λεπτομερείς σχηματισμούς (όπως αργιλικόι, αργιλοϊλυώδεις, ιλυώδεις, κ.ά.) το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων είναι πιο έντονο λόγω του πολύ μικρού μεγέθους κόκκων, η αφαίρεση δε του νερού από τους σχηματισμούς αυτούς γίνεται με αργούς ρυθμούς, με αποτέλεσμα η εδαφική υποχώρηση να παρουσιάζει διαφορά φάσεως με την άσκηση της τάσεως ή την αφαίρεση του νερού. Τέλος, σε σχηματισμούς οι οποίοι από άποψη κοκκομετρικής διαβάθμισης τοποθετούνται σε ενδιάμεση κατηγορία σε σχέση με τις προηγούμενες δυο περιπτώσεις, η εξέλιξη του φαινομένου ακολουθεί μια ενδιάμεση πορεία (Σίδερη, 2008).

Στο Σχήμα 1.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί καλύπτονται από εδαφικά υλικά. Οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από την παρουσία καρστικών εγκοίλων. Εξαιτίας της άντλησης η στάθμη του υδροφόρου υποβιβάζεται και η αύξηση της φόρτισης επιφέρει την εμφάνιση βαθιών εδαφικών υποχωρήσεων (βυθίσεων) στην επιφάνεια, περίπου κυκλικής μορφής (sink holes), ή και αβαθών (shallow holes), λόγω κατάρρευσης των εδαφικών υλικών στο χώρο των διαβρωσιγενών κοιλοτήτων του ασβεστόλιθου.



Σχήμα 1.1 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου προς

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, με την απομάκρυνση ενός ρευστού από το έδαφος, επέρχεται αύξηση των τάσεων. Η αύξηση αυτή προκαλεί επαναπροσανατολισμό και ολίσθηση των εδαφικών σωματιδίων, δηλαδή αύξηση στην πυκνότητα του εδάφους που υφίσταται την όλη διαδικασία και κατά συνέπεια μείωση του όγκου του. Όταν η εδαφική υποχώρηση είναι ομαλή, υπάρχουν ομοιόμορφες συνθήκες στην περιοχή και το πρόβλημα αντιμετωπίζεται συνολικά. Αν οι εδαφικές υποχωρήσεις διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή τότε τα προβλήματα είναι πολύ πιο σημαντικά για την ασφάλεια των κατασκευών.

1.2.1 Ανάλυση του μηχανισμού εκδήλωσης

Φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων, καθώς και η σχέση μεταξύ της πτώσης της στάθμης και του ρυθμού καθίζησης του εδάφους, έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί πολλά χρόνια πριν και σε διάφορα μέρη του κόσμου (Poland & Davis, 1956, Hix, 1995, Wilson & Gorelick, 1996). Οι εδαφικές υποχωρήσεις αυτές οφείλονται στη μείωση της πίεσης των πόρων, στην αύξηση των ενεργών τάσεων και συνεπώς στη συμπίεση του υδροφορέα. Η πτώση της στάθμης στο υδροφόρο στρώμα προκαλεί μείωση της υδροστατικής πίεσης που προκαλείται από το νερό (Σχήμα 1.3). Αν η πίεση που ασκείται στο υδροφόρο στρώμα λόγω του βάρους των

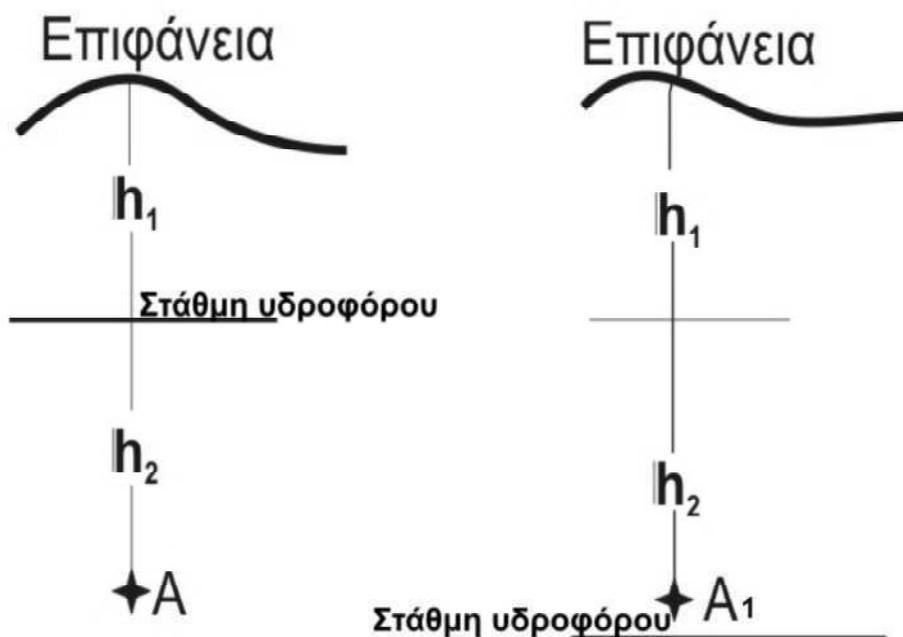
υπερκείμενων στρωμάτων παραμένει σταθερή, τότε αυξάνεται η ενεργή τάση με αποτέλεσμα να οδηγεί στη συμπίεση του υδροφόρου (Sun et al., 1999).

Έστω ότι υπάρχει μία συσσώρευση εδαφικών σωματιδίων στη θέση A του Σχήματος 1.2, τα οποία βρίσκονται αρχικά κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, με ειδικό βάρος υπερκειμένου (μη κορεσμένου) στρώματος γ_d , ενώ $\gamma_{κορ}$ το ειδικό βάρος του υδροφόρου για πλήρως κορεσμένο έδαφος και το ειδικό βάρος του νερού είναι γ_w . Στη συγκεκριμένη περίπτωση η τάση στο A θα είναι :

$$\sigma'_A = h_1\gamma_d + h_2(\gamma_{κορ} - \gamma_w)$$

Αν ο υδροφόρος ορίζοντας υποβιβαστεί με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κάτω από το επίπεδο του σημείου A, η τάση στο σημείο αυτό θα διαμορφωθεί ως εξής :

$$\sigma'_{A1} = h_1\gamma_d + h_2\gamma_{κορ}$$

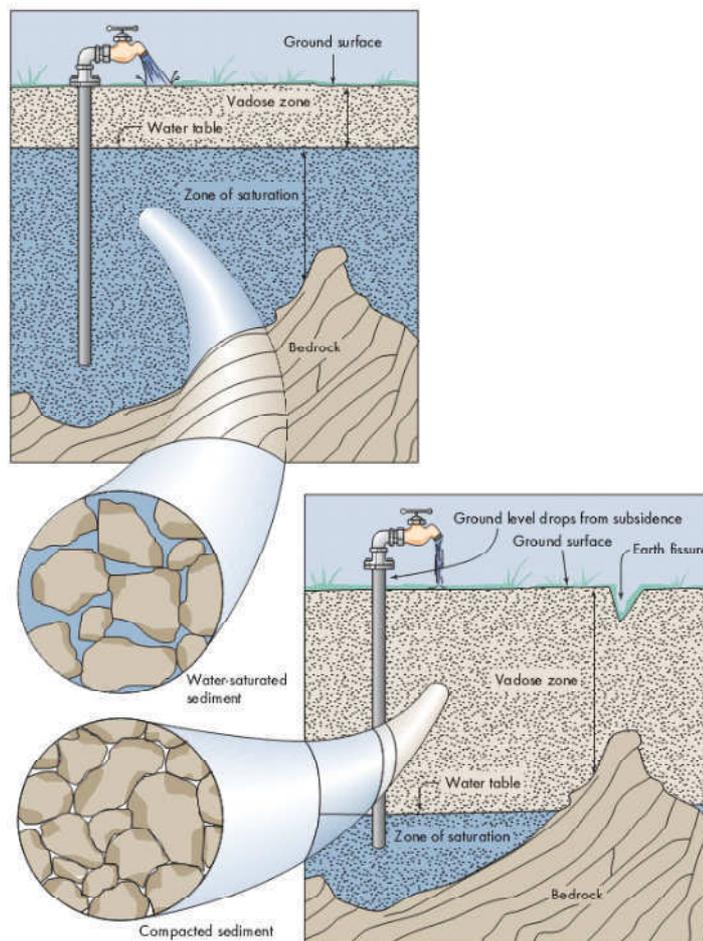


Σχήμα 1.2 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου Πόζος

Γίνεται αντιληπτό ότι $\sigma'_{A1} > \sigma'_A$ και επομένως διαπιστώνεται σημαντική αύξηση της τάσης στο εδαφικό κομμάτι στο A και επομένως εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων. Γενικά, το μέγεθος της εδαφικής υποχώρησης εξαρτάται από (Ρόζος, 2007) :

- α) το πάχος των στρωμάτων που μπορεί να υποστούν συμπίκνωση,

- β) την συμπιεστότητά τους, αλλά και
- γ) την ποσότητα του νερού που απομακρύνεται με τον υποβιβασμό της στάθμης.



Σχήμα 1.1.1 Απλουστευμένος μηχανισμός εδαφικής υποχώρησης και γένεσης εδαφικών ρωγμών λόγω της υπεράντλησης των υπόγειων υδάτων από Keller & Blodgett

Σύμφωνα με τον Σούλιο (1980) στα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα η Δσ' εφαρμόζεται στη μετακινούμενη στάθμη και δεν επιδρά ολόκληρη σε όλο το πάχος του υδροφόρου στρώματος. Επομένως έχουμε απόκλιση της σχέσης, η οποία θα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της στάθμης.

Η "καθίζηση" δηλαδή η υποχώρηση ΔD ενός υδροφορέα πάχους D, λόγω μεταβολής της υδροστατικής πίεσης ΔP, από υπεράντληση, δίνεται από τη σχέση (Domenico & Schwartz, 1990):

$$\Delta D = DP \left(\frac{S}{\gamma} - \beta DS_{\gamma} \right)$$

όπου:

S=ο συντελεστής αποθηκευτικότητας

γ =το ειδικό βάρος του νερού

β =ο συντελεστής συμπίεστότητας του νερού

D= το πάχος του υδροφορέα

S_y =το ενεργό πορώδες.

Ο δε ρυθμός "καθίζησης" δηλαδή υποχώρησης δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\Delta D}{\Delta t} = \frac{Q * D * \gamma}{E * S * A}$$

όπου:

Q= η συνολική παροχή των αντλήσεων από τον υδροφορέα

D= το πάχος του υδροφορέα

γ = το ειδικό βάρος του νερού

E= το μέτρο ελαστικότητας του υδροφορέα

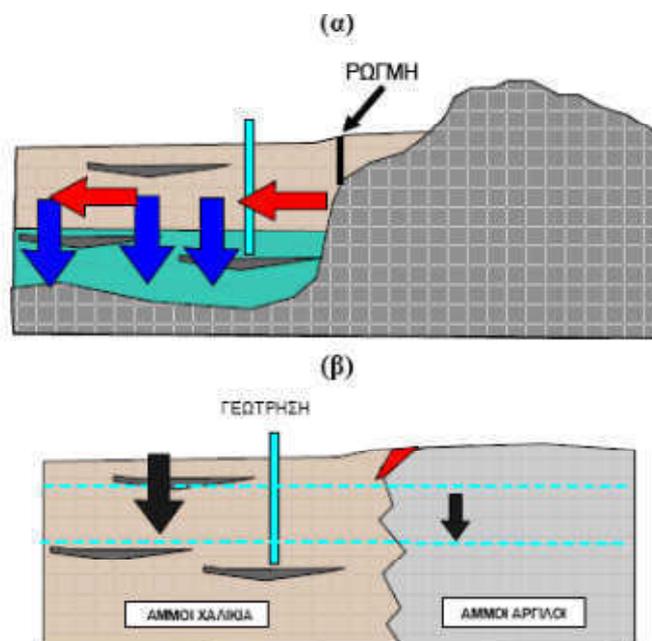
S= ο συντελεστής αποθηκευτικότητας

A= η επιφάνεια του υδροφορέα.

Οι εδαφικές υποχωρήσεις δε λαμβάνουν χώρα στιγμιαία, αλλά αντίθετα απαιτείται η παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος για την συμπίεση του σχηματισμού. Αυτό σημαίνει ότι αν τα επίπεδα της πιεζομετρικής επιφάνειας επανέλθουν γρήγορα στα αρχικά τους επίπεδα (πράγμα το οποίο μπορεί να συμβεί μετά από μία μικρής χρονικής διάρκειας άντληση), τότε ένα μέρος μόνο της προβλεπόμενης υποχώρησης θα λάβει χώρα. Σύμφωνα με τον Σούλιο (1980) η πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας που διατηρείται για χρονικό διάστημα αρκετών ημερών έχει σαν αποτέλεσμα την εκδήλωση της συνολικής σχεδόν προβλεπόμενης υποχώρησης.

Ένα άλλο συχνό γεωλογικό φαινόμενο που σχετίζεται άμεσα με την αναδιοργάνωση των τάσεων στο υδροφόρο λόγω της υπεράντλησης, είναι ο σχηματισμός εφελκυστικών ρωγμών αρχικά κοντά στην επιφάνεια και αργότερα πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Ο μηχανισμός γένεσης προϋποθέτει την υπεράντληση λιθολογικά και υδρογεωλογικά ανομοιογενών υδροφόρων στρωμάτων με αποτέλεσμα την εκδήλωση ρωγμών σε ζώνες καταπόνησης (π.χ κοντά σε

ρήγματα) στα περιθώρια λεκανών και γενικότερα στις περιοχές πλευρικών λιθολογικών ασυνεχειών (φαινόμενο διαφορικής υποχώρησης) (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 Διαφορική υποχώρηση και γένεση ρωγμών στα περιθώρια της λεκάνης (α) σε περιοχή πλευρικής λιθολογικής ασυνέχειας (Τσούρλος κ.α., 2007)

□

Γενικά, στους υπό πίεση υδροφορείς υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ της εδαφικής υποχώρησης και της πτώσης στάθμης του υπόγειου νερού, ενώ στους ελεύθερους υδροφορείς υπάρχει απόκλιση από αυτήν τη γραμμικότητα (Σούλιος, 2010). Για την ίδια πτώση στάθμης, όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί δεν εμφανίζουν την ίδια υποχώρηση, αλλά εξαρτάται από τον συντελεστή συμπίεστικότητας του καθενός.

Αν το ρευστό και το υλικό της στερεάς φάσης ενός υπό πίεση υδροφόρου θεωρηθούν ασυμπίεστα, τότε ο όγκος του ρευστού που απομακρύνεται είναι ίσος με τον όγκο της υποχώρησης (Jacob 1939, Narasimham et al., 1984, Parker and Stringfield 1950). Όσο πιο πρόσφατα είναι τα ιζήματα και δεν έχουν υποστεί διαγένεση, τόσο πιο εύκολα υφίστανται συμπίεση (Τσούρλος κ.α., 2007).

1.2.2 Παραδείγματα από τον Ελλαδικό χώρο

Τα τελευταία χρόνια, η εντατική και μη ελεγχόμενη “εκμετάλλευση” των υπόγειων νερών με υπεραντλήσεις, καθώς και οι οποιοσδήποτε ανθρώπινες παρεμβάσεις στο υπέδαφος που λειτουργούν αποστραγγιστικά, αφαιρούν συχνά από τους υδροφορείς ποσότητες νερών μεγαλύτερες των υπερειρήσια ανανεώσιμων

υπόγειων υδατικών αποθεμάτων, γεγονός που οδηγεί σε εγκατάσταση καθεστώτος αρνητικού ισοζυγίου υπογείων νερών. Εξαιτίας αυτού προκαλείται συνεχής πτώση της υδροστατικής στάθμης και της πιεζομετρικής επιφάνειας, κατάσταση που οδηγεί βαθμιαία σε μεγάλες ελαττώσεις των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών (Κουμαντάκης, 2008). Οι συνέπειες είναι σημαντικές διότι πλήττονται κατοικημένες περιοχές και απαιτούνται άμεσα και δαπανηρά μέτρα αντιμετώπισης.

▪ *Καλοχώρι Θεσσαλονίκης*

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εδαφικών υποχωρήσεων από υπεράντληση υδροφόρου ορίζοντα αναφέρεται στο Καλοχώρι Θεσσαλονίκης (Andronopulos et al., 1990 & 1991, Hatzinakos et.al., 1990, Rozos et.al, 1993, Loupasakis & Rozos, 2009). Στην περίπτωση αυτή, η υπεράντληση στο πεδίο των δελταϊκών αποθέσεων Γαλλικού και Αξιού από τη δεκαετία του 1950, οδήγησε στην εκδήλωση εκτεταμένων εδαφικών υποχωρήσεων στο χώρο του τριγώνου Παλαιά κοίτη Αξιού - Σίνδου - Εγκαταστάσεις ΕΚΟ, στη Βιομηχανική ζώνη στα Δυτικά της Θεσσαλονίκης. Οι υποχωρήσεις αυτές αποδόθηκαν στην εντατική άντληση των υδροφόρων και την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου νερού και προκάλεσαν τη μετατόπιση της ακτογραμμής προς το εσωτερικό σε βάρος της χέρσου.

Η περιοχή εντάσσεται στη γεωτεκτονική ζώνη του Αξιού και συγκεκριμένα στην ενότητα της Παιονίας. Πρόκειται για ένα τεκτονικό βύθισμα που έχει πληρωθεί από θάλασσα και λιμναία ιζήματα πάχους 600–700m. Στους ανώτερους ορίζοντες αυτών των ιζημάτων διακρίνονται οι ακόλουθες ενότητες :

- ❖ Χαλαρές αποθέσεις με επικράτηση αμμωδών σχηματισμών.
- ❖ Χαλαρές αποθέσεις με επικράτηση ιλυωδών σχηματισμών.
- ❖ Χαλαρές λεπτομερείς αποθέσεις με οργανικά.

Ο πλέον ευαίσθητος ορίζοντας που υπέστη την αύξηση της φόρτισης και συνεπώς συνέβαλε στην εκδήλωση των εδαφικών υποχωρήσεων είναι ο δεύτερος, που αποτελείται από ιλυώδεις αργίλους με φακοειδείς παρεμβολές άμμων και αφθονία φυλλαρίων μαρμαρυγία. Πρόκειται για απροφόρτιστο ορίζοντα με άτακτη διάταξη των ορυκτολογικών συστατικών, που εντοπίζεται σε βάθος από 5 έως 50m περίπου (Andronopulos et al., 1990)

Οι υποχωρήσεις στην περιοχή Καλοχωρίου - Σίνδου προκάλεσαν τη βύθιση της περιοχής σε πολλά σημεία περισσότερο από 2 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, με σοβαρότερο αποτέλεσμα την σταδιακή προώθηση της θάλασσας στον οικιστικό χώρο του Καλοχωρίου, με αποτέλεσμα να κινδυνεύσουν ανθρώπινες

ζωές (Εικόνα 1.1). Οι υπεραντλήσεις (δεκάδες χιλιάδες m^3/day) είχαν οδηγήσει σε υποβάθμιση του υδροφόρου τουλάχιστον 40m για την περίοδο 1955-1981, με αποτέλεσμα ο υπόψη ευαίσθητος ορίζοντας να υποστεί συμπύκνωση με επαναπροσανατολισμό των εδαφικών του κόκκων (Ρόζος, 2007).



Εικόνα 1.1 Η πλημμυρισμένη παράκτια ζώνη κοντά στις εκβολές του Γαλλικού Ρόζος

Άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν ο περιορισμός των αντλήσεων και η κατασκευή αναχώματος από το 1976, που προστατεύει το Καλοχώρι από την εισροή του θαλασσινού νερού. Το ανάχωμα αυτό συνεχώς ανυψώνεται, κάτι που υποδηλώνει ότι οι αντλήσεις δεν έχουν διακοπεί στην περιοχή, η οποία σημειωτέον έχει πολλές βιομηχανίες με μεγάλο αριθμό υδρογεωτρήσεων (Ρόζος, 2007).

Εκτός του αναχώματος, το οποίο είναι εφοδιασμένο με αντλιοστάσιο προκειμένου τα νερά της βροχής το χειμώνα να οδηγούνται στη θάλασσα για να μην πλημμυρίσει το Καλοχώρι, οι εδαφικές υποχωρήσεις είναι εμφανείς στο χωριό όπου υπόγεια σπιτιών έχουν εξαφανισθεί, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή από δίκτυα όπως του ΟΤΕ (Ρόζος, 2007).

Το πιο εντυπωσιακό δείγμα των εδαφικών υποχωρήσεων που καταδεικνύει και το μέγεθός τους αποτελούν μερικοί οικίσκοι αντλιοστασίων του Ο.Υ.Θ. Σε αυτούς το τιμμεντένιο δάπεδο, καθώς περιέβαλε το σωλήνα άντλησης, δεν ακολούθησε την υποχώρηση του εδάφους, αλλά το σωλήνα άντλησης, με αποτέλεσμα να φθάσει στην οροφή σχεδόν του οικίσκου. Σχετική εικόνα παρουσιάζει τιμμεντένια στέρνα ποτίσματος ζώων στην παραλία Καλοχωρίου (Εικόνα 1.2), η οποία από τη μια μεριά στηρίζονταν σε σιδερένιο πάσσαλο μπηγμένο βαθιά στο έδαφος (Ρόζος, 2007).



Εικόνα 1.1 Η ανύψωση τμήματος ποτίστρας και η αποκοπή του από το υπόλοιπο τμήμα λόγω των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλοχωρίου Θεσσαλονίκης. Πόρος

▪ Λιγνιτικό κοίτασμα Κυπαρισσιών Μεγαλόπολης

Το λιγνιτικό κοίτασμα Κυπαρισσιών στη Μεγαλόπολη περιβάλλεται από ισχυρά αποκαρστωμένους ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού – Πίνδου. Οι υπεραντλήσεις για την προστασία του λιγνιτωρυχείου την περίοδο 1963 – 1995, οδήγησε σε πτώσεις της στάθμης κατά 40m, σε συνδυασμό και με την ξηρασία της περιόδου 1990 – 1992. Η πτώση αυτή και η συνεπακόλουθη αύξηση του φορτίου των υπερκείμενων των καρστικών ασβεστολιθικών ιζημάτων πάχους 15 – 25m, ενεργοποίησε την εκδήλωση κυκλικών βυθισμάτων (sink-holes) με διάμετρο 1-15m και βάθος 1-10m (Κουμαντάκης & Δημητρακόπουλος, 1995).

Τα πρώτα βυθίσματα στη συγκεκριμένη περιοχή εντοπίστηκαν το 1990, όταν η στάθμη από το απόλυτο υψόμετρο +340 έπεσε στο +330 περίπου, ενώ τα δεύτερα το 1992. Στην τελευταία περίπτωση είχε προηγηθεί ένα ιδιαίτερα ξηρό υδρολογικό έτος με βροχόπτωση 400mm έναντι 900mm που είναι ο μέσος όρος, ενώ παράλληλα αυξήθηκαν σημαντικά οι αντλούμενες ποσότητες.

Οι περιοχές των βυθισμάτων εντοπίζονται στο χώρο όπου το πάχος των ιζημάτων μεταξύ του ασβεστολιθικού υποβάθρου και της επιφάνειας του εδάφους είναι μικρότερο από 15m περίπου. Το σχήμα τους είναι κωνικό με διάμετρο διατομής 1-15m και βάθος 1-10m.

Αυτού του είδους τα βυθίσματα δημιουργούνται λόγω διάβρωσης και καταστροφής της δομής των χαλαρών σχηματισμών που υπέρκεινται κενών τα οποία προϋπάρχουν εξαιτίας καρστικοποίησης στο υπόβαθρο. Στο κατώτερο τμήμα των

χαλαρών υπερκειμένων, εμφανίζονται κοιλότητες λόγω της εσωτερικής διάβρωσης των υλικών αυτών (Σίδερη, 2008).

Χαλαρές αποθέσεις αλλουβιακών εδαφών ή εξαιρετικά χαλαρές –μαλακές ζώνες υπολειμματικών εδαφών είναι οι πιο επιρρεπείς σχηματισμοί για την εκδήλωση των φαινομένων αυτών, που είναι γνωστοί με τον όρο *raveling*. Καθώς η εσωτερική διάβρωση συνεχίζεται, η κοιλότητα γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη. Τα υπερκείμενα υλικά όταν έχουν ομοιογένεια μπορεί να σχηματίσουν ένα είδος τόξου που προσωρινά στηρίζεται μεταφέροντας τις δυνάμεις που ασκούνται λόγω του βάρους των υπερκείμενων εδαφών στα τοιχώματα της κοιλότητας. Τελικά όμως, όταν η διάβρωση προχωρήσει περισσότερο, το τόξο δεν μπορεί να διατηρηθεί και το έδαφος μεταξύ κοιλότητας και επιφάνειας του εδάφους καταρρέει, βυθίζεται δημιουργώντας κενά και προκαλώντας επιφανειακή εκδήλωση της καταβόθρας (Κουμαντάκης, Δημητρακόπουλος, 1995).

Η κατάπτωση και βύθιση των υπερκείμενων σχηματισμών συνεχίζεται έως ότου επανέλθει κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή μέχρι τα υπερκείμενα του καρστικού στομίου υλικά να «απορροφηθούν» μέσα στα καρστικά έγκοιλα ή τα έγκοιλα αυτά να πληρωθούν με μεταφερμένα υλικά. Εάν η πτώση της στάθμης των υπογείων νερών συνεχιστεί είναι δυνατόν να ενεργοποιηθεί πάλι ο μηχανισμός που αναλύθηκε πιο πάνω και τελικά να λάβει χώρα επιφανειακή εκδήλωση του φαινομένου (Κουμαντάκης & Δημητρακόπουλος, 1995).

Τα βυθίσματα που τελικά εκδηλώνονται στην επιφάνεια αντικατοπτρίζουν μικρό μόνο μέρος των εγκοίλων που υπάρχουν στο υπέδαφος και υποδηλώνουν την ύπαρξη σ' αυτό ιδιαίτερα σημαντικών κοιλοτήτων και σπηλαιωδών μορφών. Βυθίσματα μπορεί να λάβουν χώρα, με την προϋπόθεση ύπαρξης στο υπόβαθρο καρστικού στομίου μεγάλου σχετικά μεγέθους.

▪ *Λίμνη Ξινιάδας Φθιώτιδας*

Ένα ξεχωριστό παράδειγμα εδαφικής υποχώρησης παρατηρήθηκε στην αποξηρανεύσα λίμνη Ξινιάδας. Στην περιοχή αυτή παρατηρήθηκε υποχώρηση του εδάφους κατά 1 – 1.5m από το 1955 έως το 1969, επειδή ταπεινώθηκε η στάθμη των υδροφόρων οριζόντων (Σούλιος, 1980).

▪ *Περιοχή Μοσχάτου – Καλλιθέας, στο νομό Αττικής.*

Το υδατικό διαμέρισμα της Αττικής είναι από τα πτωχότερα της χώρας σε υδατικούς πόρους. Είναι το μόνο διαμέρισμα της χώρας που η κύρια χρήση του

νερού είναι η ύδρευση και ως δευτερεύουσες χρήσεις ακολουθούν η γεωργική (άρδευση) και η βιομηχανική.

Στην περιοχή του σταδίου Ειρήνης και Φιλίας, πραγματοποιήθηκε μέτρηση των εδαφικών υποχωρήσεων και εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα (Γεωργόπουλος, 1993) :

Τα μεγέθη των εδαφικών υποχωρήσεων είναι αξιοσημείωτα σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης, ειδικότερα δε στην παραλιακή ζώνη.

Παρατηρήθηκε αύξηση των εδαφικών υποχωρήσεων από τον Ιλισό προς τον Κηφισό, ενώ η μέγιστη υποχώρηση παρατηρήθηκε στο κέντρο της περιοχής μελέτης. Στην εκβολή του Κηφισού ανιχνεύθηκαν σχετικά μεγάλα μεγέθη καθιζήσεων.

Οι υποχωρήσεις στη συγκεκριμένη περιοχή, τελικά αποδόθηκαν στη φυσική συμπύκνωση των σχετικά νέων αποθέσεων της περιοχής, στη σημαντική φόρτιση της περιοχής λόγω της οικιστικής δραστηριότητας και στην υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδάτων.

▪ **Νοτιοανατολική ζώνη της πεδιάδας της Θεσσαλίας**

Κατά τη διάρκεια του θέρους του 1990, το οποίο χαρακτηρίστηκε από έντονη ξηρασία, ρήγματα και ρωγματώσεις εμφανίσθηκαν τοπικά στην ευρύτερη περιοχή του χωριού Καστρί, αλλά και στα χωριά Γλαύκη, Μέλισσα, Σωτήριο κ.α.

Τα ρήγματα και οι ρωγματώσεις επανεμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια του θέρους 1993, επηρεάζοντας μία μεγάλη έκταση καλυπτόμενη από προσχωσιγενείς αποθέσεις και ειδικότερα τα χωριά Ρυζόμυλος, Στεφανοβίκειο και Νίκη. Ορισμένα από τα ρήγματα αυτά είχαν μήκος ενός και δύο χιλιομέτρων.

Παρόλο που το σύνολο των ρωγματώσεων είχε διάσπαρτο προσανατολισμό, έγινε δυνατή η διάκριση ενός ποσοστού των σημαντικότερων από αυτές, που παρουσιάζει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (110°). Η εμφάνιση των ρωγματώσεων αποδόθηκε σε τεκτονική δραστηριότητα ή σε υποχώρηση των υδροφόρων στρωμάτων, η οποία προκλήθηκε από σημαντική ταπείνωση της πιεζομετρικής τους επιφάνειας (Σίδερη, 2008).

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στη περιοχή Φαρσάλων και Σταυρού της Λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας**

Στην περιοχή των Φαρσάλων Δυτικής Θεσσαλίας και κυρίως στο δυτικό τμήμα αυτής στην τοποθεσία Παλιόλουτρο, από το έτος 2002, άρχισαν να εμφανίζονται εδαφικές διαρρήξεις που έχουν επηρεάσει το οδόστρωμα σε τμήματα του οδικού

δικτύου (Εικόνες 1.3, 1.4), αλλά και πολλά κτίσματα της περιοχής. Το φαινόμενο αυτό αποδόθηκε στην εκμετάλλευση των υπογείων νερών της περιοχής, η οποία έχει ενταθεί τα τελευταία χρόνια.

Αποτέλεσμα των υπεραντλήσεων ήταν η δημιουργία εδαφικών υποχωρήσεων που σταδιακά «μετανάστευσαν» στην επιφάνεια και στις παρυφές της λεκάνης και εκδηλώθηκαν με τη μορφή εδαφικών θραύσεων. Το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων εξαιτίας των υπεραντλήσεων επιβεβαιώνεται και από την παρουσία ρωγματώσεων στους οικίσκους των υδρογεωτρήσεων της περιοχής (Σίδηρη, 2008).

Οι κατασκευές οι οποίες βρίσκονται επάνω στις συγκεκριμένες διαρρήξεις (κυρίως οικίες), παρουσιάζουν ρωγματώσεις στην τοιχοποιία και τα δάπεδα, αλλά και στρεβλώσεις σε πόρτες και παράθυρα. Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρήθηκε σε κατασκευές που απέχουν έστω και λίγα μέτρα από τη ζώνη των εδαφικών διαρρήξεων. Οι εδαφικές θραύσεις που εμφανίζονται στο οδόστρωμα παρουσιάζουν βραδεία εξέλιξη με αποτέλεσμα να επανεμφανίζονται και μετά τις όποιες παρεμβάσεις, δυσχεραίνοντας την κυκλοφορία των οχημάτων (Σίδηρη, 2008).



Εικόνα **Εδαφικές διαρρήξεις σε δρόμο στην περιοχή των Φαρσάλων Δυτικής Θεσσαλίας Σίδηρη**



Εικόνα 1.5 Εδαφικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα στην περιοχή των Φαρσάλων Δυτικής Θεσσαλίας Σίδερη

Εδαφικές διαρρήξεις εντοπίστηκαν και στην περιοχή Σταυρού Δυτικής Θεσσαλίας (Εικόνες 1.5, 1.6). Το ίχνος της και σε αυτή την περίπτωση είναι εμφανές τόσο στο οδόστρωμα, όσο και σε πολλά κτίσματα της περιοχής.

Σε όσες οικίες και κατασκευές βρίσκονται πάνω στην εδαφική διάρρηξη έχουν προκληθεί ζημιές, όπως ρωγματώσεις στην τοιχοποιία, στρεβλώσεις σε πόρτες, παράθυρα, μάντρες και πεζοδρόμια. Τέλος, και στην περίπτωση αυτή οι εδαφικές διαρρήξεις αποδόθηκαν στις εντατικές αντλήσεις των υπογείων νερών της περιοχής.



Εικόνα 1.6 Εδαφικές διαρρήξεις σε οδόστρωμα στον οικισμό του Σταυρού Δυτική Θεσσαλία Σίδερη



Εικόνα 1.7. Εδαφικές διαρρήξεις σε φθόστρωμα στον οικισμό του Σταυρού Πύλης Δυτική Θεσσαλία Σίδερα

▪ Δήμος Θερμαϊκού Νομού Θεσσαλονίκης

Ο ανατολικός τομέας του Νομού Θεσσαλονίκης και ειδικότερα η περιφέρεια του Δήμου Θερμαϊκού, ως περιαστική ζώνη της πόλης της Θεσσαλονίκης, δέχεται τα τελευταία χρόνια έντονη οικιστική ανάπτυξη. Η ανάπτυξη αυτή πραγματοποιείται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διαθεσιμότητα υδατικών πόρων, ικανών να καλύψουν διαχρονικά, τις αυξημένες ανάγκες για ύδρευση των μόνιμων κατοίκων, των τουριστικών καταλυμάτων και των εγκαταστάσεων αναψυχής. Μέχρι σήμερα όλες οι υδατικές ανάγκες της περιοχής καλύπτονται από υπόγεια νερά, προερχόμενα από την υπεράντληση μέσω γεωτρήσεων των υπό πίεση υδροφόρων των σχηματισμών του νεογενούς που δομούν την περιοχή του Δήμου (Ναγκούλης & Λουπασάκης 1998, Κουμαντάκης κ.ά., 2008).

Η υπερεκμετάλλευση έχει οδηγήσει στην εγκατάσταση αρνητικού ισοζυγίου υπόγειων νερών, η οποία εκφράζεται με πτώση της υδροστατικής στάθμης, που κατά θέσεις ξεπερνά τα 40 – 50m, τα τελευταία 30 χρόνια και διαμόρφωσή της σε αρνητικά υπόμετρα. Την τελευταία δεκαετία ο ρυθμός πτώσης στάθμης σε ετήσια βάση έχει ενταθεί και φτάνει έως και τα 2,2m/year στην περιοχή της Περαιάς.

Λόγω των μεγάλων αθροιστικών πτώσεων της υδροστατικής στάθμης, στα περιθώρια της πεδινής ζώνης, όπου οι προσχώσεις οι υπερκείμενες των νεογενών, είναι επιδεκτικά συμπύκνωσης, εκδηλώθηκαν σημαντικές εσωτερικές υποχωρήσεις, με συνέπεια την εμφάνιση εκτεταμένων αστοχιών σε έργα υποδομής και οικίες, εντός του οικισμού της Περαιάς (Εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.1 Βλάβες σε εξωτερική σκάλα οικίας λόγω των εκτεταμένων υποχωρήσεων [Κουμαντάκης κ.α.]

1.2.3 Παραδείγματα από χώρες του εξωτερικού

Υπάρχουν πάρα πολλά παραδείγματα εδαφικών υποχωρήσεων σε πολλές χώρες εκτός από την Ελλάδα. Τα πιο χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Bangkok (Ταϊλάνδη)
- ❖ Βενεζουέλα
- ❖ Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Στις Η.Π.Α, οι βιβλιογραφικές αναφορές είναι πολλές καθώς εδαφικές υποχωρήσεις εξαιτίας της υπεράντλησης ρευστών από το έδαφος εμφανίζονται σε ένα μεγάλο αριθμό πολιτειών όπως η Καλιφόρνια, η Νεβάδα, η Αριζόνα, η Γιούτα, το Αϊντάχο, το Τέξας, η Φλόριντα, η Λουιζιάνα και η Τζόρτζια.
- ❖ Ιαπωνία (Nagoya, Osaka)
- ❖ Ιράν
- ❖ Ιταλία (Μιλάνο, Πίζα, Μπολόνια, Κόμο, Βενετία)
- ❖ Κίνα (Σαγκάη, Hangu, Tianjin)
- ❖ Κολωνία (Γερμανία)
- ❖ Ολλανδία
- ❖ Πόλη του Μεξικό (Μεξικό)
- ❖ Ιταλία
- ❖ Σουηδία

▪ *Εδαφικές υποχωρήσεις στην Πόλη του Μεξικού*

Η πόλη του Μεξικού έχει κτιστεί σε αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν ηφαιστειακά πετρώματα. Η συνεχής άντληση του υδροφόρου ορίζοντα για τις ανάγκες της πόλης επί σειρά ετών, οδήγησε στον υποβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα κατά 10-50m, με αποτέλεσμα την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων 8m. Οι εδαφικές υποχωρήσεις εκδηλώθηκαν σε μια έκταση $25km^2$, προκαλώντας γενικά προβλήματα στην περιοχή (καταστροφή κατασκευών, προεξοχή σωλήνων υδρογεωτρήσεων 8m πάνω από το έδαφος κλπ), αλλά και υποχωρήσεις των μεγάλων κτηρίων μεγαλύτερες από το βάθος θεμελίωσης αυτών, καθώς οι τάσεις στο χώρο θεμελίωσης αυτών είναι σημαντικά αυξημένες. Έτσι, η προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού στράφηκε στην θεμελίωση των μεγάλων κατασκευών βαθύτερα με τη βοήθεια πασσάλων, κάτι φυσικά που είναι πολύ δαπανηρό για τα μικρά κτήρια (Ρόζος, 2007).

▪ *Εδαφικές υποχωρήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής*

Σύμφωνα με τον Ρόζο (2007) σε πολλές περιοχές των ΗΠΑ, έχουν σημειωθεί εδαφικές υποχωρήσεις λόγω άντλησης νερού ή και πετρελαίου, όπως:

Στην **Αριζόνα**, όπου σε περιοχή αλλουβιακών αποθέσεων η υπεράντληση προκάλεσε εδαφικές υποχωρήσεις βάθους 23m.

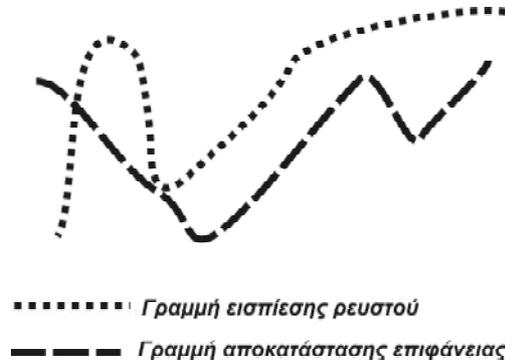
Στην **Καλιφόρνια**, υπεράντληση νερού προκάλεσε εδαφική υποχώρηση με βύθιση 4m σε μια περιοχή με έκταση 200 τετραγωνικά μίλια.

Στο **Νέο Χιούστον του Τέξας** για τον ίδιο λόγο εκδηλώθηκε εδαφική υποχώρηση 1-2m σε μια έκταση $10.000km^2$.

Στο **Long beach της Καλιφόρνια** έχει σημειωθεί ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα εδαφικών υποχωρήσεων που οφείλεται στην άντληση πετρελαίου. Μετά την έναρξη της άντλησης, σημειώθηκαν εδαφικές υποχωρήσεις αρκετών μέτρων, λόγω αύξησης των ενεργών τάσεων από την απομάκρυνση του ρευστού. Το πρόβλημα γινόταν συνεχώς εντονότερο και προκειμένου να σταθεροποιηθεί η κατάσταση που είχε ήδη διαμορφωθεί, η αρχική σκέψη ήταν να σταματήσουν αμέσως οι αντλήσεις.

Αυτό όμως σχετίζονταν όπως είναι κατανοητό με σοβαρούς οικονομικούς λόγους. Παράλληλα όμως η περιοχή ήταν πλέον πολύ κοντά στο να πλημμυρίσει με το νερό της θάλασσας που είχε ήδη αρχίσει να εισρέει στο χώρο. Έτσι αποφασίστηκε να εφαρμοστεί μια δαπανηρή λύση πριν προχωρήσουν στην κατασκευή αναχωμάτων. Η λύση αυτή που άρχισε περί τα τέλη της δεκαετίας του 50, ήταν η

εισπίεση νερού μέσα στις γεωτρήσεις προκειμένου να καταλάβει τη θέση του πετρελαίου (Εικόνα 1.8). Οι σχετικές μετρήσεις που έγιναν απέδειξαν ότι με αυτή τη διαδικασία αποκατάστασης η εδαφική ανύψωση δεν αντισταθμίζει ποτέ πλήρως την σημειωθείσα εδαφική υποχώρηση.



Εικόνα 1.8 Συσχέτιση γραμμής εισπίεσης νερού και αποκατάστασης επιφάνειας εδάφους (Ρόζος, 2007)

Πέρα από αυτή τη διαπίστωση, υπάρχουν και άλλες συνέπειες από την εισπίεση μεγάλων ποσοτήτων ρευστού μέσα στο έδαφος. Για παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση του **Denuer στο Κολοράντο στις ΗΠΑ**, όπου 50 περίπου χρόνια πριν, στην προσπάθεια να απαλλαγούν από χημικά απόβλητα τα εισπίεσαν μέσα σε πετρώματα σε βάθος 3.000m περίπου. Μετά από λίγο καιρό και αφού είχαν εισπίσει αρκετό από το υλικό αυτό, άρχισε να καταγράφεται σημαντικός αριθμός σεισμών στην περιοχή ή οποία ήταν χαρακτηρισμένη σαν σεισμική. Γενικά οι καταγραφές ήταν 80 περίπου σεισμοί ανά ημέρα και οι έρευνες που έγιναν απέδειξαν την ενεργοποίηση ρηγμάτων στην περιοχή (Ρόζος, 2007).

Στην **κοιλάδα Las Vegas στη Νεβάδα** εδαφικές υποχωρήσεις μεγαλύτερες από 1,2m μεταξύ 1935 και 1970 είναι στενά συνδεδεμένες με μεγάλης κλίμακας αντλήσεις υπόγειων νερών. Σε μερικές περιοχές η πτώση της στάθμης ξεπέρασε τα 55 m. Θραύσεις του εδάφους που έλαβαν χώρα σε κατοικημένες περιοχές προκάλεσαν καταστροφές σε δρόμους, σε σπίτια και άλλες κατασκευές (Κουμαντάκης, 2009).

Στην **κοιλάδα Santa Clara στην Καλιφόρνια** η πόλη San Jose υπέστη υποχώρηση 4 m. Μεταξύ 1912 και 1967 μετρήθηκαν εδαφικές υποχωρήσεις 3,86 m που οφείλονται σε συμπύκνωση των ιζημάτων. Έχει εκτιμηθεί ότι οι καταστροφές στη Santa Clara λόγω των υποχωρήσεων έφθασαν το ύψος των 100 εκατ. δολαρίων.

Οι καταστροφές αυτές περιλαμβάνουν αχρήστευση των σωληνώσεων των γεωτρήσεων, μείωση της ικανότητας των δικτύων αποχέτευσης των λυμάτων και

αποστράγγιση του εδάφους, και από τα νερά του San Francisco Bay πλημμύρισαν οι δρόμοι, οι σιδηροδρομικές γραμμές, γεγονός που απαιτούσε την κατασκευή αναχωμάτων και άλλων προστατευτικών έργων (Κουμαντάκης, 2009).

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στην Αριζόνα**

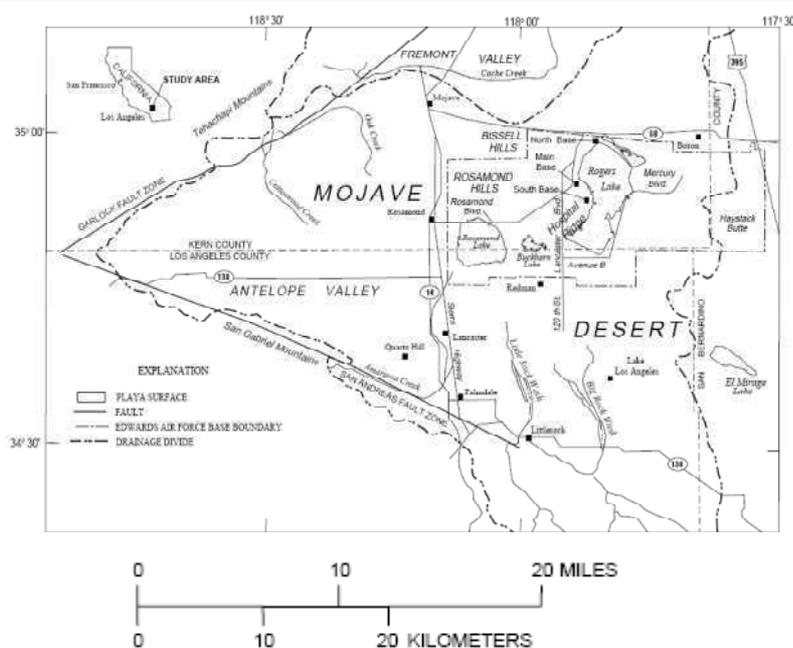
Στην περιοχή της Αριζόνα στις Η.Π.Α., μια έκταση 3000 τετραγωνικών μιλίων επηρεάζεται από την υπεράντληση των υδροφόρων στρωμάτων και παρουσιάζονται φαινόμενα έντονων εδαφικών υποχωρήσεων που συνοδεύονται από την εκδήλωση επιφανειακών ρωγμών του εδάφους (Εικόνα 1.9). Το 1992 παρατηρήθηκε υποχώρηση του εδάφους περίπου 5,5 m για πτώση στάθμης 91,4 m (Carpenter, 1999).



Εικόνα 1.9. Εκδήλωση επιφανειακών ρωγμών λόγω του φαινομένου της υπεράντλησης στην Αριζόνα των Η.Π.Α. (ALSG)

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στην Καλιφόρνια**

Η Κοιλάδα Antelope βρίσκεται στη δυτική έρημο Mojave της Νότιας Καλιφόρνιας, περίπου 60 μίλια βόρεια του Λος Άντζελες (Σχήμα 1.5) Η κοιλάδα Antelope είναι μια κλειστή τοπογραφικά λεκάνη που καλύπτει περίπου 2.200 MI^2 , και έχει το χαμηλότερο σημείο της στις λίμνες Rogers και Rosamond. Η περιοχή της κοιλάδας οριοθετείται στα νοτιοδυτικά από το βουνό San Gabriel και το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα και στα βορειοδυτικά από το βουνό Tehachari και την ζώνη του ρήγματος Garlock. Υποχώρηση του εδάφους αναφέρθηκε αρχικά στην Κοιλάδα Antelope τη δεκαετία του 1950 (Lewis & Miller, 1968) και το 1967 είχε υπάρξει περίπου 2 ft εδαφική υποχώρηση σε μια έκταση περίπου 200 M^2 (Londquist, 1993).



U.S. Geological Survey Open-File Report 94-532

Σχήμα 1.1 Τοποθεσία της περιοχής μελέτης Londquist

▪ Εδαφικές υποχωρήσεις στην κοιλάδα San Joaquin Καλιφόρνιας

Το νότιο τμήμα της Great Valley αρδεύεται εντατικά από υπόγεια νερά. Η υπεράντληση τους οδήγησε μεταξύ 1922 και 1972 σε πολύ μεγάλη πτώση της πιεζομετρικής επιφάνειας. Νότια του Bakersfield για παράδειγμα η πτώση αυτή ήταν μεγαλύτερη των 100m .

Το γεγονός αυτό προκάλεσε σημαντικές εδαφικές υποχωρήσεις στο σύνολο μιας αγροτικής έκτασης 11.000 km² από το 1920 έως το 1972. Πρόκειται για τη μεγαλύτερη σε έκταση ζώνη εδαφικής υποχώρησης σε παγκόσμια κλίμακα. Οι εδαφικές υποχωρήσεις μέσα σ' αυτήν την περιοχή ήταν μεγαλύτερες των 0,3m. Στην έκταση αυτή περιλαμβάνεται μια ζώνη μήκους 113 km όπου οι εδαφικές υποχωρήσεις ήταν μεγαλύτερες των 3m., μέγιστη τιμή 8,5 m δυτικά του FRESNO (Κουμαντάκης, 2009).

Προφανής τρόπος παρέμβασης για να σταματήσουν οι εδαφικές υποχωρήσεις ήταν η διακοπή των υπεραντλήσεων των υπογείων νερών. Αυτό δεν έγινε κατορθωτό στην εξεταζόμενη περιοχή λόγω των υφιστάμενων αναγκών και της υπάρχουσας νοοτροπίας. Ο ρυθμός πάντως πραγματοποίησης των υποχωρήσεων ελαττώθηκε όταν μεταφέρθηκαν με μεγάλους αγωγούς επιφανειακά νερά από άλλες περιοχές και διατέθηκαν για αρδεύσεις και τεχνητό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων (Κουμαντάκης, 2009).

▪ Εδαφικές υποχωρήσεις στη Νέα Ορλεάνη

Τουλάχιστον τα δύο τρίτα της μητροπολιτικής Νέας Ορλεάνης είναι χτισμένο πάνω σε αποξηραμένους βάλτους κοντά στο Δέλτα του ποταμού Μισισσιπή. Η

περιοχή χαρακτηρίζεται από συσσωρεύσεις τύρφης πάχους έως 5 μέτρων, που συχνά επικάθεται σε λεπτές στρώσεις ιλύος και αργίλου.

Η ελώδης περιοχή που αποκαταστήθηκε αντλείται με κανάλια αποστράγγισης, με αποτέλεσμα την μείωση του υδροφόρου ορίζοντα μέχρι και τρία μέτρα. Ωστόσο, η διαδικασία της εξυγίανσης προκάλεσε τρεις τύπους υποχώρησης του εδάφους: (1) πρωτογενή συμπίκνωση της τύρφης και των υποκείμενων στρωμάτων αργίλου, (2) δευτερογενή συμπίεση της τύρφης και των υποκείμενων στρωμάτων πηλού από τη φόρτιση της γης, και (3) οξειδωση της αποξηραμένης τύρφης.

Η χαμηλή φέρουσα ικανότητα του υλικού αυτού προϋποθέτει ότι τα κτίρια θα στηρίζονται σε πασσάλους με θεμελίωση τουλάχιστον 12m βαθιά στη γη και με σωστή απόσταση μεταξύ τους ο κάθε πάσσαλος, έτσι ώστε ως ένα βαθμό να επιβραδύνουν την υποχώρηση ακριβώς κάτω από τα κτίρια, λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη εδαφική υποχώρηση συνεχίζει σε παρακείμενες περιοχές που δεν προστατεύονται από πασσάλους. Διαφορική μετακίνηση έως και ένα μέτρο έχει μετρηθεί, και το ποσό των διαφορικών μετακινήσεων συσχετίζεται στενά με τον τύπο των ιζημάτων, το ποσό μείωσης του υδροφόρου, και τον χρόνο που έχει παρέλθει από τα βελτιωτικά έργα. Έτσι, είναι δυνατόν να προβλεφθεί σε ποιες περιοχές της υφιστάμενης και μελλοντικής ανάπτυξης θα βιώσουν επικίνδυνα φαινόμενα (Πηγή:http://iahs.info/redbooks/a151/iahs_151_0507.pdf).

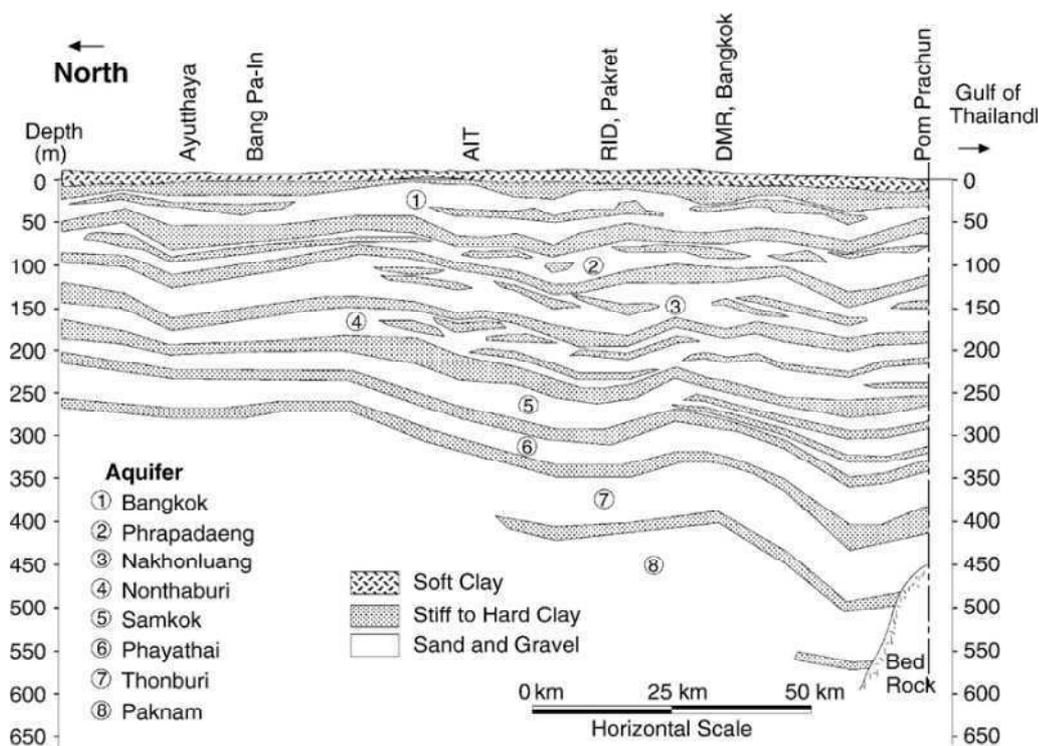
▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στην Μπανγκόκ, Ταϊλάνδη**

Εδαφικές υποχωρήσεις του εδάφους λόγω συνεχούς άντλησης από βαθιά πηγάδια παρατηρείται στην Μπανγκόκ τα τελευταία 35 χρόνια, ο ρυθμός των οποίων έφθασε τα 12 cm το χρόνο. Η πτώση στάθμης του υδροφόρου έφθασε σε πολλά σημεία τα 65 m.

Η επίδραση της είναι αρκετά σημαντική λόγω του χαμηλού υψομετρικού ανάγλυφου του εδάφους και της παρουσίας στρώματος μαλακής αργίλου στην επιφάνεια του εδάφους που αυξάνουν τον κίνδυνο πλημμύρας και δημιουργούν μηχανικά προβλήματα, αντίστοιχα (Σχήμα 1.6).

Η εδαφική υποχώρηση έφτασε στην πιο κρίσιμη κατάσταση της στις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν η συχνότητα εμφάνισης της έφθασε το ύψος των 120 mm / έτος. Το ποσοστό μειώθηκε κατά την επόμενη περίοδο, αλλά η υποχώρηση στην πληγείσα περιοχή επεκτάθηκε με την ανάπτυξη της πόλης. Παρά τις διάφορες προσπάθειες που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση της κρίσης, η άντληση των υπογείων υδάτων από τον υδροφόρο ορίζοντα κάτω από την πόλη συνέχισε να αυξάνεται από 1.200.000 m^3/day στις αρχές του 1980 σε περισσότερα από

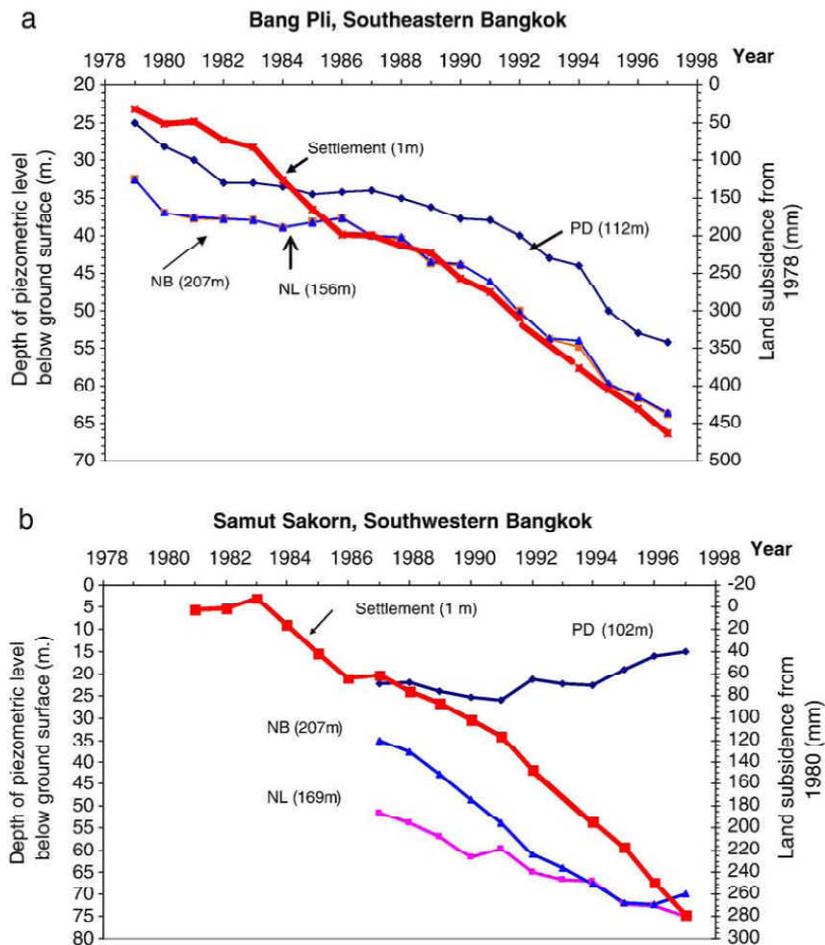
2 εκατ. ευρώ m^3/day στο γύρισμα του αιώνα. Κατόπιν παρακολούθησης του φαινομένου διαπιστώθηκε συσχέτιση μεταξύ της εδαφικής υποχώρησης και της πτώσης των πιεζομετρικών επιφανειών (σχήματα 1.7, 1.8). Εδαφικές υποχωρήσεις του εδάφους παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1968 (Phien-wej et.al., 2006).



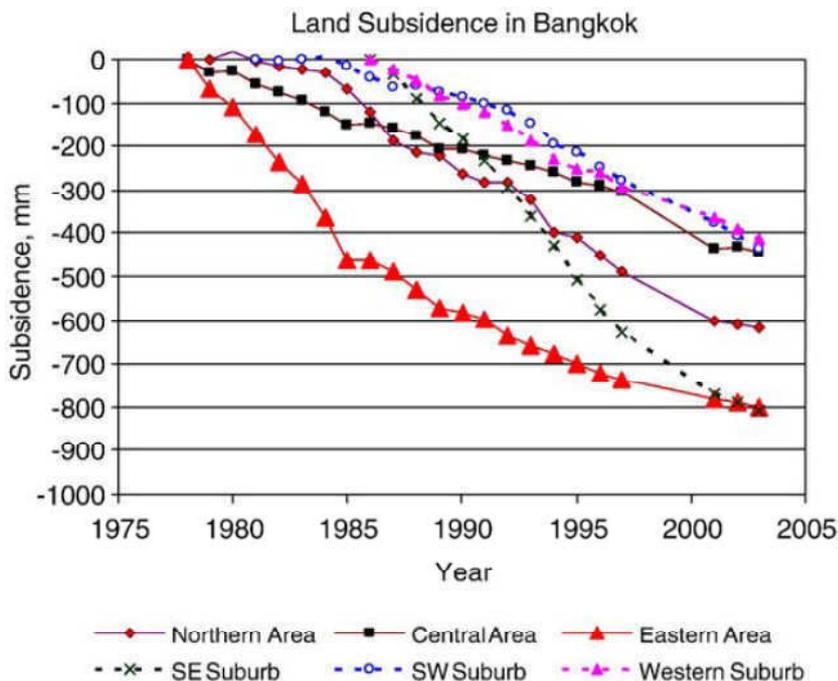
Σχήμα 1.9 Σχηματική απεικόνιση του υδροφόρου ορίζοντα στην κατεύθυνση βορρά-νότου της Μπανγκόκ τροποποιημένο μετά Pichareon

Το χρονικό της άντλησης των υπόγειων υδάτων στην Μπανγκόκ και στα προάστια κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών φαίνεται στο Σχήμα 1.9, ενώ στο Σχήμα 1.10 φαίνονται οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες του 2002.

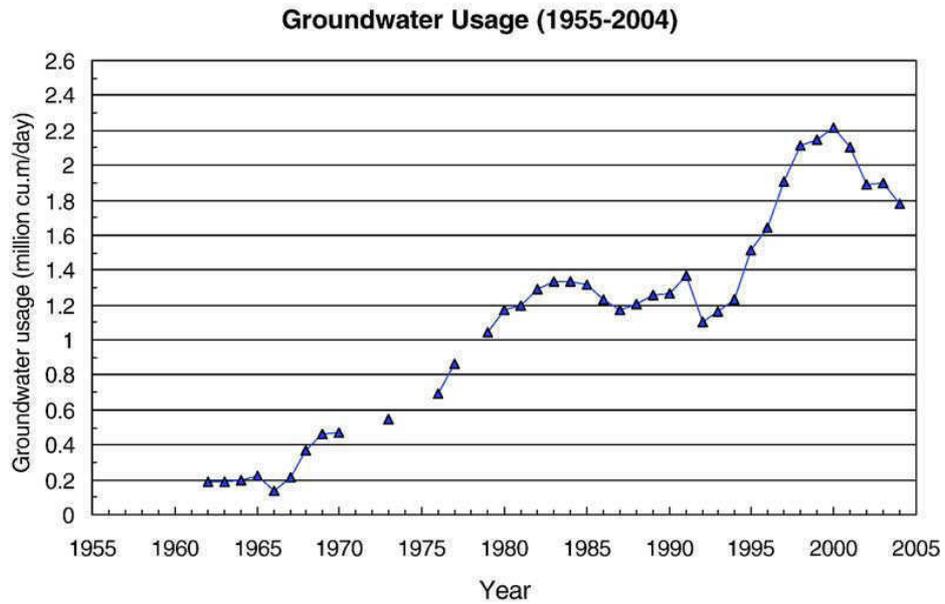
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ



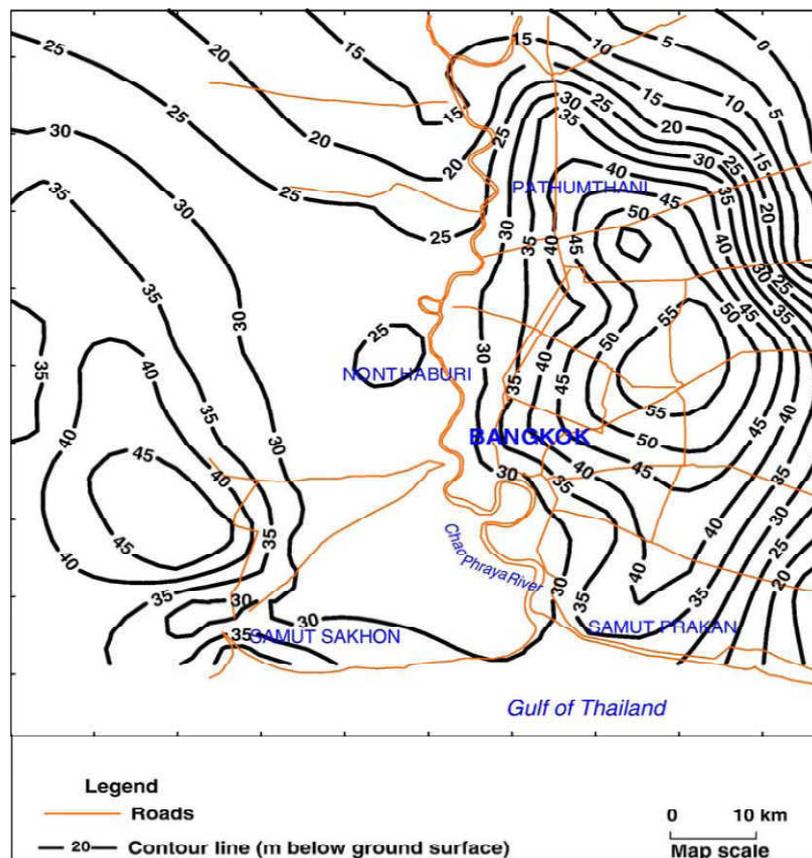
Σχήμα 1.1 Εδαφική υποχώρηση και πιεζομετρική ανάλυσις από υδροφορείς συναρτήσει του χρόνου α) Νοτιοανατολική περιοχή β) Νοτιοδυτική περιοχή Μπανγκόκ Phien Wej Et



Σχήμα 1.2 Εδαφική υποχώρηση του εδάφους συναρτήσει του χρόνου σε διάφορες περιοχές της Μπανγκόκ Μπανγκόκ Phien Wej Et



Σχήμα 1.9 Συσχέτιση άντλησης υπογείων υδάτων σε σχέση με τον χρόνο στην πεδιάδα Μπανγκόκ (Phien-uej-ét-ai)



Σχήμα 1.10 Πιεζομετρικές επιφάνειες σε υδροφόρα του Nakorn Louang (το Μπανγκόκ (Phien-uej-ét-ai))

Την επίδραση των εδαφικών υποχωρήσεων μπορεί να δει κανείς σε όλη την έκταση της πόλης (εικόνα 1.10).



**Εικόνα 1.1 Ζημιές που προκαλούνται από διαφορικές μετακινήσεις του εδάφους
Μπανγκόκ Phien Uej et al**

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στην Tianjin της Κίνας**

Η Tianjin, η οποία είναι μια από τις σημαντικότερες βιομηχανικές πόλεις της Κίνας, βρίσκεται κατά μήκος της ακτής της Bohai Κόλπου δυτικά του Ειρηνικού Ωκεανού. Είναι περίπου 120km βορειοδυτικά του Πεκίνου. Το επίπεδο ανάγλυφο της περιοχής Tianjin όπου πολλές λίμνες μπορούν να βρεθούν, έχει υψόμετρο μόλις 3-5 μέτρα, και στραγγίζεται από τον ποταμό Haihe και που καταλήγει στη θάλασσα Bohai. Τα χαλαρά ιζήματα που υπερκαλύπτουν το υπόβαθρο έχουν μεγάλο πάχος και με αρκετά πολύπλοκες υδρογεωλογικές συνθήκες.

Από το 1959, από όταν δηλαδή οι άνθρωποι άρχισαν να ανησυχούν για την υποχώρηση του εδάφους, η μέγιστη μετακίνηση της επιφάνειας του εδάφους έφθασε στα 2,15 m μέχρι το 1982, με ρυθμό υποχώρησης 261 χιλιοστά ανά έτος, και η περιοχή που υποχωρεί επεκτάθηκε πάνω από 7300km². Η υποχώρηση του εδάφους της Tianjin μπορεί να αποδοθεί σε δυο παράγοντες, αρχικά στην δραστηριότητα του ανθρώπου, όπως στην υπεράντληση των υπόγειων υδάτων και δεύτερον στις τεκτονικές κινήσεις του φλοιού.

Στην περιοχή Hangzhou-Jiaxing-Huzhou της ΒΑ/κής Κίνας ο μέγιστος ρυθμός εδαφικής υποχώρησης ανήλθε σε 50 mm/year. Από τη δεκαετία του 1960 έως το 2002 η μέγιστη συνολική εδαφική υποχώρηση ανήλθε σε 84,2 cm. Η επιφάνεια με συνολική υποχώρηση >20 cm ήταν 883 km², ενώ η περιοχή με συνολική υποχώρηση >10 cm ανήλθε σε 2500 km². Ο συνολικός όγκος που αντλήθηκε την

περίοδο 1954-2000 στην περιοχή αυτή ήταν $2,73 \times 10^9 \text{ m}^3$ με μέγιστο ετήσιο ρυθμό άντλησης $20 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Καταγράφηκε επίσης μια υστέρηση δηλαδή ενώ ο μέγιστος ρυθμός άντλησης ήταν το 1982, ο μέγιστος ρυθμός υποχώρησης καταγράφηκε το 1989. Η ταχύτατη μείωση του ρυθμού άντλησης δεν μειώνει εξίσου γρήγορα και τον ρυθμό εδαφικής υποχώρησης (Πηγή: http://iahs.info/redbooks/a151/iahs_151_0435.pdf).

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στην περιοχή της Σαγκάης**

Η μεγαλύτερη βιομηχανική πόλη της Κίνας, η Σαγκάη, με περισσότερους από 12 εκ. κατοίκους, είναι κτισμένη στις αποθέσεις του δέλτα του ποταμού Yangtze. Οι υπεραντλήσεις από τα υπόγεια νερά επί μακρά σειρά ετών, που έφθασαν τα 1962 τα $2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ οδήγησε σε μεγάλες πτώσεις της στάθμης των εδαφικών οριζόντων και σε υποχωρήσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Η στάθμη το 1960 βρισκόταν μέχρι και 30m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι εδαφικές υποχωρήσεις είχαν εμφανιστεί από το 1921 και το 1965 είχαν φθάσει τα 2,5m, ή και πάνω από 3m, κατά θέσεις. Οι μεγαλύτερες εδαφικές υποχωρήσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 1956-1959 και η ετήσια τιμή τους ήταν 98mm (Κουμαντάκης, 2009).

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στην Αγγλία**

Στην Αγγλία κύρια παραδείγματα εδαφικών υποχωρήσεων είναι αυτά που σημειώθηκαν στο Cheshire και στο Staffordshire με την αφαίρεση νερού και αλατιού από εβαποριτικούς (Τριαδικούς) ορίζοντες, προκειμένου να παράγουν αλάτι, που έφθανε και τα 2.000.000 τόνους ανά έτος. Η αφαίρεση του διαλυμένου ορυκτού άλατος προκάλούσε τη δημιουργία σπηλαιωδών ανοιγμάτων η κατάρρευση των οποίων οδηγούσε σε ζημιές στην επιφάνεια του εδάφους (Ρόζος, 2007).

▪ **Εδαφικές υποχωρήσεις στο Μιλάνο**

Από το 1950 έχει εγκατασταθεί ένα δίκτυο για ακριβείς μετρήσεις του υψομέτρου της επιφάνειας του εδάφους και με την βοήθεια των μετρήσεων αυτών διαπιστώθηκε το μέγεθος των εδαφικών υποχωρήσεων και ο ρυθμός με τον οποίο πραγματοποιούνται. Διατυπώθηκε η υπόθεση ότι ένα μέρος τουλάχιστον των εδαφικών υποχωρήσεων οφείλεται σε υπεραντλήσεις των υπόγειων νερών. Μια νέα σειρά μετρήσεων το 1986 απέδειξε ότι ο ρυθμός των εδαφικών υποχωρήσεων ελαττώθηκε σημαντικά, γεγονός που αποδεικνύει τη σχέση της αφαίρεσης νερού από το υπέδαφος με τις εδαφικές υποχωρήσεις στην επιφάνεια του εδάφους (Κουμαντάκης, 2009).

▪ *Εδαφικές υποχωρήσεις στη Μπολόνια*

Φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων είναι γνωστά από 30 χρόνια και συνδέονται πιθανώς με τη συστηματική εκμετάλλευση των υπόγειων νερών. Στην περιφέρεια οι υποχωρήσεις είναι μεγαλύτερες και φθάνουν το 1m, ενώ στο ιστορικό κέντρο είναι μικρότερες και των 10cm. Αυτό οφείλεται κατά πρώτο λόγο στις γεωλογικές συνθήκες και τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως είναι τα έργα αποστράγγισης, η άντληση νερών και φυσικών αερίων κ.α. .Μέχρι το 1989 δεν είχε εξακριβωθεί η ακριβής συσχέτιση αιτιών και εδαφικών υποχωρήσεων, οι οποίες αυξάνονται συνεχώς (Κουμαντάκης, 2009).

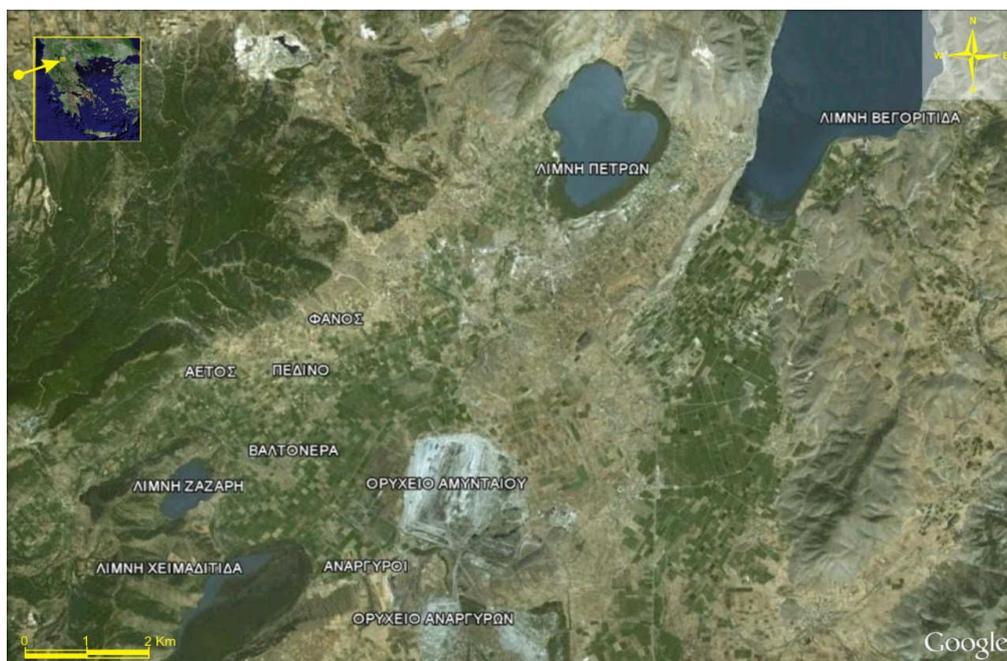
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ -ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

2.1 Γενικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά όρια και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας, η οποία εντοπίζεται στα σύνορα Κοζάνης – Φλώρινας, μεταξύ του ορυχείου Αμυνταίου και της λίμνης Χειμαδίτιδας.

2.2 Γεωγραφική τοποθέτηση

Η περιοχή έρευνας που ανήκει στον δήμο Αμυνταίου εκτείνεται δυτικά του ορυχείου Αμυνταίου και βορειοανατολικά της λίμνης Χειμαδίτιδας και της λίμνης Ζάζαρης (Εικόνα 2.1). Εντός των ορίων της περιοχής εντοπίζονται πέντε οικισμοί. Από τους οικισμούς αυτούς, ο Φανός και ο Αετός βρίσκονται στα βόρεια της περιοχής στους πρόποδες του όρους Βίτσι, οι Ανάργυροι στα νότια της περιοχής στις παρυφές λοφώδους έξαρσης διαμορφωμένης από την δράση του ομώνυμου ρήγματος, ενώ στο πεδινό κομμάτι της περιοχής βρίσκονται οι οικισμοί Βαλτόνερων και Πεδινού (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.1 Δορυφορική Εικόνα της Ευρύτερης Περιοχής από το Google Earth

□



Εικόνα 2.1 Δορυφορική εικόνα στην οποία επισημαίνεται η θέση της περιοχής έρευνας με τους οικισμούς Αετός, Φανός, Βαλτόνερα, Πεδινό, Ανάργυροι υπό το Google Earth

2.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας - Πτολεμαΐδας υποδιαιρείται σε επιμέρους υπολεκάνες μέσω εξαρμάτων και λοφοσειρών. Το πιο χαρακτηριστικό έξαρμα είναι του Κλειδιού- Ξυνού νερού – Αετού, το οποίο χωρίζει τη λεκάνη

Φλώρινας (βόρεια) από τη λεκάνη Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας (νότια). Το ύψωμα Κλειδιού- Ξυνού νερού – Αετού έχει μέγιστο υψόμετρο 900 m.

Ο οικισμός των Αναργύρων είναι δομημένος σε μέσο υψόμετρο 610 m, σε πρηνή τα οποία κλίνουν προς τα βόρεια με ήπιες κλίσεις. Τα Βαλτόνερα εντοπίζονται σε μέσο υψόμετρο 597m, το χωριό Πεδινό στα 610m περίπου, ενώ τα χωριά Αετός και Φανός σε ακόμα μεγαλύτερο υψόμετρο. Οι οικισμοί Φανός και Αετός είναι χτισμένοι στους πρόποδες όρους Βιτσίου. Ο Φανός (υψόμ. 650 m) είναι ένα μικρό χωριό, δέκα χιλιόμετρα νοτιοδυτικά του Αμυνταίου και ένα χιλιόμετρο δυτικά της εθνικής οδού Θεσσαλονίκης Καστοριάς.

Η πεδινή περιοχή έχει πλούσιο οδικό δίκτυο που συνδέει τις περιοχές μεταξύ τους, καθώς δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες, λόγω της ήπιας μορφολογίας. Σημειώνεται πάντως εδώ η έντονη κυκλοφορία από βαριά οχήματα που παρατηρείται λόγω της ύπαρξης του ορυχείου Αμυνταίου.

Στο πεδινό κομμάτι της περιοχής εντοπίζονται οι λίμνες Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Βεγορίτιδα και Πετρών. Η λίμνη Βεγορίτιδα περιβάλλεται από τα όρη Βέρνο, Βόρας και Βέρμιο και αποτελεί το χαμηλότερο σημείο του συμπλέγματος των λιμνών Ζάζαρης, Χειμαδίτιδας και Πετρών, των οποίων δέχεται τα νερά μέσα από σύστημα διωρύγων και σήραγγας. Η υπόψη λίμνη πέρα από τα πλεονάζοντα νερά της λίμνης Πετρών τροφοδοτείται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, διάφορα ρέματα της περιοχής, καθώς και από υπόγειες πηγές. Το ρέμα Σουλού, το οποίο εκρέει στην Βεγορίτιδα, δέχεται τα νερά που χρησιμοποιούν τα εργοστάσια της ΔΕΗ για την ψύξη τους (Αγγελάκης, 2008).

Η λίμνη Χειμαδίτιδα είναι μεγαλύτερη από την λίμνη Ζάζαρη, με έκταση 10,8 km² και μέγιστο μήκος 6,3 km. Είναι όμως ρηχότερη, με το μέσο βάθος της να μην ξεπερνά το ένα μέτρο και το μέγιστο τα 2,5 m. Έχει εκτεταμένες ελώδεις εκτάσεις και το 70-80% της λίμνης καλύπτεται από καλαμιώνες, ενώ δέχεται πιέσεις από αστικές και γεωργικές δραστηριότητες και είναι ευτροφική (Πηγή: <http://www.valtonero.gr>).

Στη λίμνη Χειμαδίτιδα καταλήγουν τα πλεονάζοντα νερά της Ζάζαρης που μαζί με τα δικά της οδηγούνται μέσω του καναλιού του Αμύντα στην λίμνη των Πετρών. Η λίμνη Χειμαδίτιδα τροφοδοτείται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τα πλεονάζοντα ύδατα από την λίμνη Ζάζαρη μέσω ενός καναλιού ενώ οι εκροές οφείλονται στην εξάτμιση, στην άρδευση των γύρω καλλιεργούμενων εκτάσεων και στην διοχέτευση των πλεοναζόντων νερών προς την λίμνη Πετρών μέσω του ποταμού Αμύντα (Τσιούρης 1996).

Η λίμνη Ζάζαρη βρίσκεται σε υψόμετρο 602 m, έχει εμβαδόν περίπου 2 km² και μέγιστο μήκος 2 km. Το μέγιστο βάθος αυτής της λίμνης είναι 8 μέτρα και το μέσο

βάθος 5,5 m. Τροφοδοτείται από την λεκάνη απορροής της και τον χείμαρρο του Σκλήθρου (αποφυγή πλημμυρών και ταμίευση νερού για άρδευση) (Πηγή: <http://www.ana.gr>).

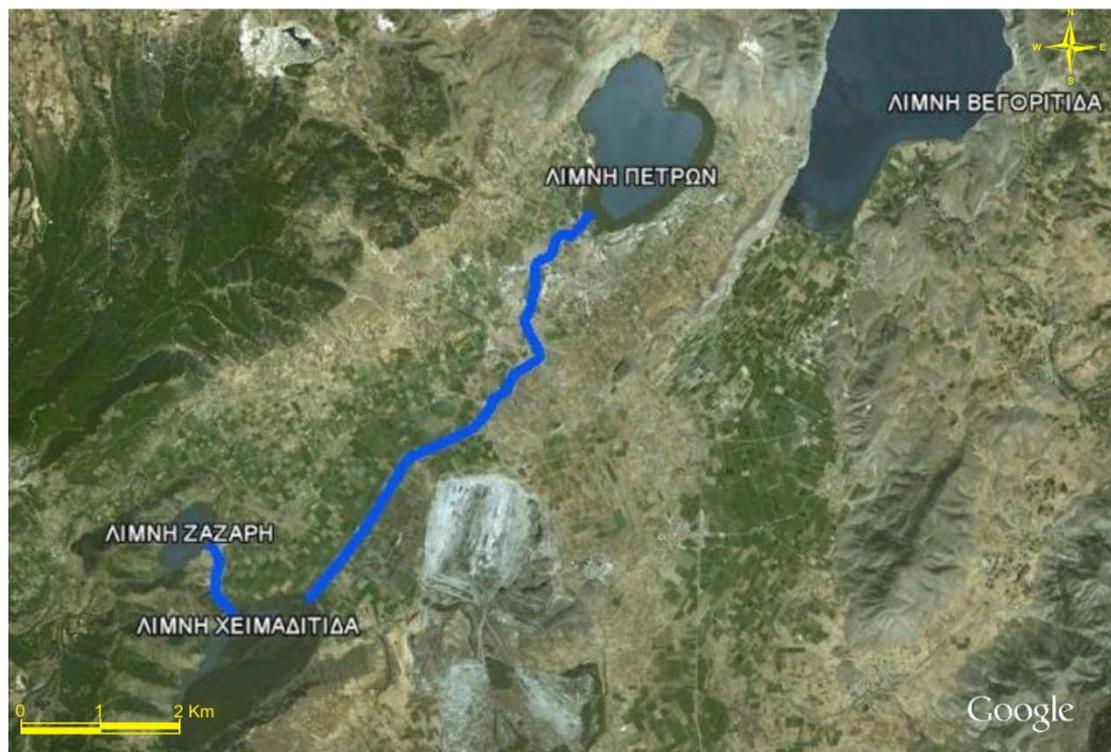
Η λίμνη Πετρών ανήκει στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας και βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Νομού Φλώρινας, κοντά στα σύνορα με τους Νομούς Πέλλας και Κοζάνης, νοτιοδυτικά της λίμνης της Βεγορίτιδας. Νότια της λίμνης και σε απόσταση 1 km περίπου, βρίσκεται η πόλη του Αμυνταίου. Η επιφάνεια της λίμνης έχει εμβαδόν περίπου 8 km² και το βάθος της μεταβάλλεται από 1 έως 3,5 m. Το υψόμετρο της στάθμης της είναι 571 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Η λίμνη Πετρών αποτελεί τμήμα της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης που ξεκινά από τη λίμνη Ζάζαρη και, μέσω των λιμνών Χειμαδίτιδα και Πετρών, καταλήγει στη λίμνη Βεγορίτιδα. Η υδρολογική λεκάνη Χειμαδίτιδας-Πετρών έχει έκταση 344,5 km². Γενικά η λίμνη χαρακτηρίζεται ως εύτροφη (Κοκκινάκης κ.ά., 2003).

Η λίμνη τροφοδοτείται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και από μικρούς ποταμούς και ρυάκια με σπουδαιότερο τον ποταμό Αμύντα που μεταφέρει τα πλεονάζοντα νερά από την λίμνη Χειμαδίτιδα. Οι απώλειες οφείλονται στην εξάτμιση, στην χρήση για άρδευση των καλλιεργειών και στην εκροή προς την Βεγορίτιδα μέσω ενός καναλιού. Στον ποταμό Αμύντα καταλήγουν και τα νερά που αντλούνται από το μέτωπο εξόρυξης του λιγνίτη των ορυχείων της ΔΕΗ (Θεοδωρή & Καϊμάκης, 2002). Στην σήραγγα που διοχετεύει τα πλεονάζοντα νερά από τη λίμνη Πετρών στη Βεγορίτιδα υπάρχει θυρόφραγμα για να ρυθμίζεται η ροή του νερού (Αγγελάκης, 2008).

Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι το '50, οι λίμνες Ζάζαρη και Χειμαδίτιδα είχαν απευθείας τροφοδότηση από τις απορροές των λεκανών τους. Οι χείμαρροι του Αετού και του Σκλήθρου κατέληγαν στο έλος της Χειμαδίτιδας. Στο ίδιο έλος αποφορτίζονταν και το πλεόνασμα της Χειμαδίτιδας και τα νερά όπως έχει ήδη λεχθεί κατέληγαν στη λίμνη των Πετρών, μέσω του ρεύματος του Αμύντα. Στη δεκαετία του '50, στη Βεγορίτιδα αποξηραίνεται το έλος Σαρί Γκιόλ, με την τάφρο του Σουλού. Κατασκευάζεται η υπόγεια σήραγγα, από τη Βεγορίτιδα προς τον Άγρα, για να μεταφέρει νερό στον Άγρα και μειώνεται η στάθμη της Βεγορίτιδας, λόγω της άντλησης νερών για την ψύξη των σταθμών παραγωγής ρεύματος από την ΔΕΗ. Στις αρχές του '60 κατασκευάζεται το πρώτο αποστραγγιστικό έργο της Χειμαδίτιδας, περιλαμβανομένης μια κεντρικής τάφρου, 14 αποστραγγιστικών διωρύγων καθώς και κάποιων δευτερευουσών τάφρων. Η αποστράγγιση προσφέρει 22.000 στρέμματα, τα οποία διανεμήθηκαν στους κατοίκους. Επίσης, γίνεται η εκτροπή του χειμάρρου του Σκλήθρου προς τη Ζάζαρη καθώς και η ενωτική διώρυγα Ζάζαρης-Χειμαδίτιδας (Εικόνα 2.3) καθώς και η επέκταση του στραγγιστικού δικτύου. Το 1962-1963

ανοίγεται και η διώρυγα Πετρών-Βεγορίτιδας, ενώ σε νεότερους χρόνους γίνεται διευθέτηση και εγκιβωτισμός των χειμάρρων Σκλήθρου-Αετού.

Σήμερα, είναι υπό κατασκευή το έργο ανύψωσης και στεγανοποίησης του αναχώματος της Χειμαδίτιδας για να επιτευχθεί ανύψωση της στάθμης της λίμνης (Πηγές: <http://www.ana.gr>, <http://exomatiakainlepo.blogspot.com>).



Εικόνα 2.4 Δορυφορική εικόνα στην οποία απεικονίζονται οι τέσσερις λίμνες Ζάζαρη, Χειμαδίτιδα, Πετρών και Βεγορίτιδα της περιοχής καθώς και η ενωτική διώρυγα Ζάζαρης-Χειμαδίτιδας και το κανάλι που ενώνει εν συνεχεία την λίμνη Χειμαδίτιδα με την λίμνη Πετρών από Google Earth

Η περιοχή έρευνας γεινιάζει με δυο ορυχεία, των Αναργύρων και του Αμυνταίου, αντίστοιχα. Το ορυχείο Αναργύρων, το οποίο βρίσκεται κοντά στον οικισμό των Αναργύρων, είχε μέγιστο βάθος εκσκαφής, σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ, περίπου 70 m κατά την φάση λειτουργίας του (Λουπασάκης, 2006).

Μετά το πέρας της λειτουργίας του ορυχείου Αναργύρων ακολουθήθηκε γέμισμα του κενού χώρου, που δημιουργήθηκε από την εκμετάλλευση του λιγνίτη, με υλικά που μεταφέρθηκαν από το γειτονικό ορυχείο Αμυνταίου. Το ορυχείο Αμυνταίου, που απέχει περίπου 400 m από τον οικισμό των Αναργύρων και 1200 m από τα Βαλτόνερα, έχει βάθος εκσκαφής πάνω από 170 m και έκταση περίπου 3 χλμ. Τα πρανή του ορυχείου είναι διαμορφωμένα με μικρή κλίση και σε αναβαθμούς μεγάλου πλάτους (Εικόνες 2.4, 2.5).

Σε γενικές γραμμές μπορεί να αναφερθεί ότι ενώ στη βάση του πρανούς, όπου ακόμα εκτελούνται εργασίες, υπάρχει πιθανότητα να αστοχήσουν ένας ή περισσότεροι αναβαθμοί, το σύνολο του πρανούς δεν είναι δυνατόν να αστοχήσει ή αν εκδηλωθούν αστοχίες είναι απίθανο αυτές να επεκταθούν μέχρι τους κοντινούς οικισμούς (Λουπασάκης, 2006).



Εικόνα 2.11 Αποψη των πρανών του όρυχείου Αμυνταίου. Παρουσιάζεται η διαμόρφωση των πρανών με αναβαθμούς μεγάλου πλάτους (Λουπασάκης, 2006).



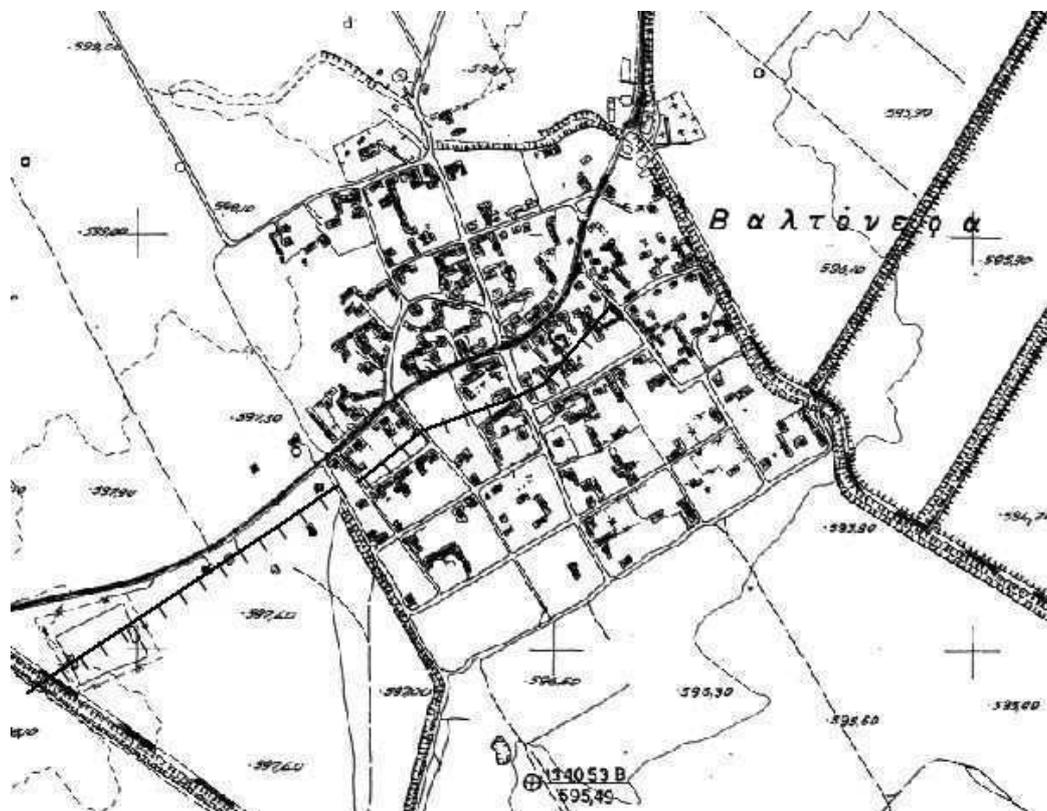
Εικόνα 2.12 Αποψη των πρανών του όρυχείου Αμυνταίου. Ενώ πίσω φαίνεται και το χωριό των Αναργύρων (Απρίλιος, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ - ΓΕΩΛΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

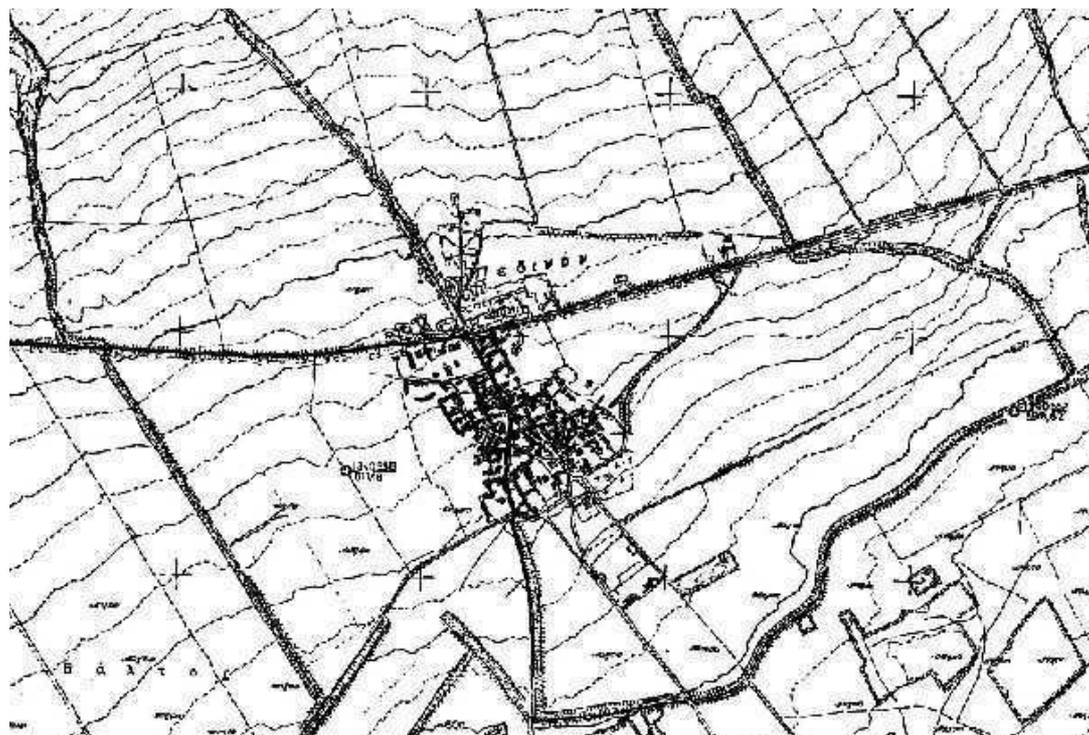
Στην συνέχεια παρατίθενται τοπογραφικά διαγράμματα, ενδεικτικά, για τους τέσσερις κυριότερους οικισμούς της περιοχής έρευνας (Ανάργυροι Σχήμα 2.1, Βαλτόνερα Σχήμα 2.2, Πεδινό Σχήμα 2.3 και Φανός Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.1 Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός των Αναργύρων.



Σχήμα 2.2 Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός των Βαλτόνερων.



Σχήμα 1.1 Απόσπασμα Γεογραφικού Διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός του Πεδινού



Σχήμα 1.2 Απόσπασμα Γεογραφικού Διαγράμματος στο οποίο απεικονίζεται ο οικισμός του Φανού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1 Γενικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην γεωλογία της ευρύτερης περιοχής καθώς και της στενής περιοχής έρευνας και στο τεκτονικό καθεστώς, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές (Brunn 1956, Mercier 1968, Μουντράκης 1976, 1979, 1983, Μουντράκης & Σούλιος 1978, Κίλιας 1980, Kiliias & Mountrakis 1981, Παυλίδης 1985).

3.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας - Πτολεμαΐδας εντοπίζεται εντός των ορίων της Πελαγονικής ζώνης (Σχήμα 3.1). Όπως φαίνεται και στη λιθοστρωματογραφική στήλη του Σχήματος 3.2, η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υπόβαθρου, με τους γνευσιωμένους γρανίτες, πάνω στους οποίους έχουν αποθεθεί Μεσοζωικά ιζήματα. Τα Μεσοζωικά ιζήματα αποτελούνται από το Τριαδικό – Ιουρασικό ανθρακικό κάλυμμα και από τα Άνω Κρητιδικά πελαγικά ιζήματα μέσα στα οποία εντοπίζονται και οφιολιθικές μάζες.

Ειδικότερα, η Πελαγονική ζώνη αποτελείται από τις εξής λιθοστρωματογραφικές ενότητες (Brunn 1956, Mercier 1968, Μουντράκης 1976, 1979, 1983, Μουντράκης & Σούλιος 1978, Κίλιας 1980, Kiliias & Mountrakis 1981):

α. Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο

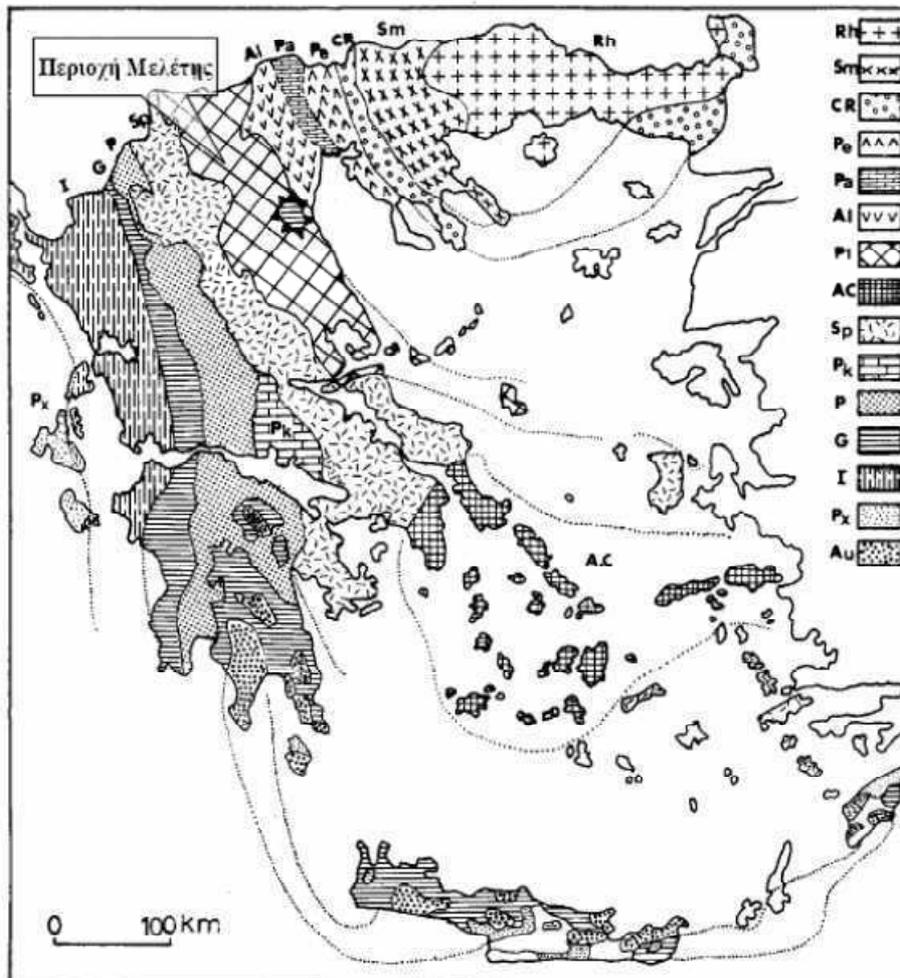
Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου έχουν μεγάλη εξάπλωση στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, όπου και εμφανίζονται με τη μορφή αλληπάλληλων τεκτονικών λεπιών. Παρά το γεγονός ότι διακρίνονται διάφορες λιθολογικές ενότητες, τα πετρώματα του υποβάθρου, αντιμετωπίζονται ως παράλληλες κρυσταλλοσχιστώδεις ακολουθίες που έχουν παρόμοια λιθολογική εξέλιξη και που κρυσταλλώθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες κατά τη διάρκεια του Παλαιοζωικού ή και παλαιότερα του Προκάμβριου.

Η μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου έλαβε χώρα στο Παλαιοζωικό πριν από το Λιθανθρακοφόρο και έγινε σε συνθήκες της βαθύτερης πραιοσχοστολιτικής φάσης έως και της ανώτερης αμφιβολιτικής.

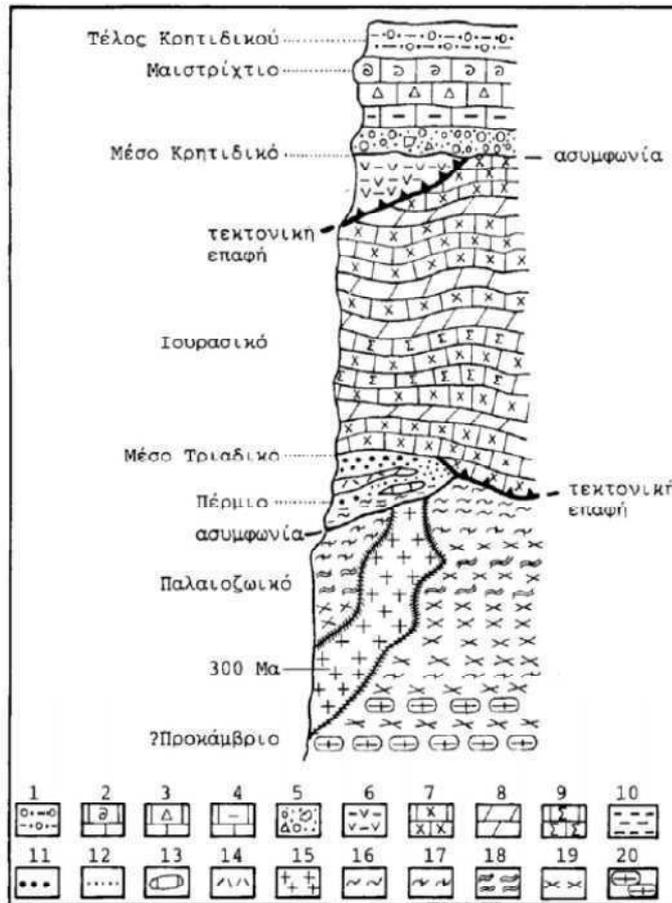
β. Γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου

Οι γρανίτες αποτελούν μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής. Οι διεισδύσεις αυτές είναι παλαιές και σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις η γένεσή τους καθορίστηκε στο Άνω Λιθανθρακοφόρο. Στο μεγαλύτερο μέρος τους οι γρανίτες εμφανίζονται γνευσιωμένοι, σε συνθήκες χαμηλής πρσινοσχιτολιθικής φάσης, εξαιτίας της αλπικής μεταμόρφωσης του Άνω Ιουρασικού -Κάτω Κρητιδικού. Υπάρχουν όμως και τμήματα τα οποία εμφανίζονται χωρίς μεταμόρφωση ή και τμήματα στα οποία εμφανίζονται μαγματικές διεισδύσεις να διαπερνούν η μία την άλλη.

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν και νεότερες διεισδύσεις που ορισμένες από αυτές ίσως να πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης.



Σχήμα **1.1** Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων Ζωνών **Rh** **Μάζα** της **Ροδόνης** **Sm** **Σερβομακεδονική** **Μάζα** **CR** **Περιοδοπική** **Ζώνη** **Pe** **Ζώνη** **Παιονίας** **Pa** **Ζώνη** **Πάικου** **Al** **Ζώνη** **Αλμωπίας** **Π** **Ζώνη** **Αξιού** **Pi** **Πελαγονική** **Ζώνη** **Ac** **Αττικο** **Κυκλαδική** **Ζώνη** **Sp** **Υποπελαγονική** **ζώνη** **Pk** **Ζώνη** **Παρνασσού** **Γκιώνας** **P** **Ζώνη** **Πίνδου** **G** **Ζώνη** **Γαβρόβου** **Τρίπολης** **I** **Ιόνιος** **Ζώνη** **Px** **Ζώνη** **Παξών** **ή** **Προπούλια** **Au** **Ενότητα** << **Ταλέα** **όρη** **Πλακώδεις** **Ασβεστόλιθοι** >> **πιθανόν** της **Ιονίου** **ζώνης** **Μουντράκης**



Σχήμα Συνοπτική Λιθοστρωματογραφική Τεκτονική Στήλη της Πελαγονικής ζώνης. **Επικλυσιογενή Ιζήματα Μέσου Ανω Κρητιδικού** φλύσχης **Ανω Μαιστριχτίου** **Κάτω Παλαιοκαίνου** **ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου** **μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι** **μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι** **κροκαλολατυποπαγή της βάσης** **δφειόλιθοι** και **συνοδά πελαγικά ιζήματα** **πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού** **Ιουρασικού** **κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι** και **μάρμαρα** **δολομίτες** **σιπολίτες** **πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμιού** **Κάτω Τριαδικού** **μεταπेलίτες** **φυλλίτες** **χαλαζιακά** **μετακροκαλοπαγή** **μεταψαμμίτες** **μεταθρκόζες** **φακοί ασβεστόλιθων** **μεταβυόλιθοι** **μετατόφφοι** **γνευσιωμένοι γρανίτες** **Ανω Λιθανθρακοφόρου** **πετρώματα του κρυσταλλοσχιτώδους υπόβαθρου Παλαιοζωικής** και **προ** **Κάμβριας** **ηλικίας** **σχιστόλιθοι** **χλωριτικοί** **μαρμαρυγικοί** **αμφιβολιτικοί** **επιδοτιτικοί** **διμαρμαρυγικοί** **γρανατούχοι** **σχιστόλιθοι** **αμφιβολίτες** **γνεύσιοι** **οφθαλμογνεύσιοι** **Η διάθρωση της Πελαγονικής ζώνης** **Μουντράκης**

γ. Περμοτριαδικές μετακλαστικές ακολουθίες

Οι μετακλαστικές ακολουθίες αποτελούνται από κλαστικά ιζήματα που αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του Περμιού και Κάτω Τριαδικού και στη συνέχεια μεταμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού σε συνθήκες χαμηλής πραιοσχιστολιθικής φάσης.

Η μετακλαστική σειρά του Περμοτριάδικου αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Πελαγονικής και αντιπροσωπεύει τα ιζήματα της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Η ηπειρωτική κατωφέρεια αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της ηπειρωτικής διάρρηξης που οδήγησε στη δημιουργία της ωκεάνιας περιοχής δυτικά της Πελαγονικής. Στενά συνδεδεμένα με την ηπειρωτική διάρρηξη είναι και τα ηφαιστειακά υλικά που παρεμβάλλονται στις μετακλαστικές ακολουθίες, αφού η ηφαιστειότητα του Περμοτριάδικου εκδηλώθηκε στο χείλος της.

δ. Ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού - Ιουρασικού

Η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ζώνη κατά τη διάρκεια του Τριαδικού – Ιουρασικού χαρακτηρίζεται ως νηριτική ανθρακική και αποτελεί το λεγόμενο “Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής”.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα νεώτερων ερευνών (Μουντράκης 1983, 1984) το ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής στην ουσία αποτελείται από δύο τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό, τα οποία και αποτέθηκαν στα αντίστοιχα περιθώρια της ζώνης.

Ειδικότερα, για το δυτικό περιθώριο διαπιστώθηκε ότι είναι αυτόχθονο, δηλαδή αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του Μέσου Τριαδικού - Κάτω Κρητιδικού πάνω στα Περμοτριάδικά μετακλαστικά ιζήματα όπου και συναντάται μέχρι και σήμερα. Το πάχος του καλύμματος αυτού υπολογίζεται στα 600 - 800m. Ενώ αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και ελάχιστες λεπτές παρεμβολές πηλιτικών ενστρώσεων.

Το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα είναι παρα-αυτόχθονο, δηλαδή αποτέθηκε πάνω στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής και στη συνέχεια επωθήθηκε προς τα δυτικά πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

Και στα δύο προαναφερόμενα καλύμματα γίνεται αισθητή η μεταμόρφωση που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού και σε συνθήκες Πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Η μεταμόρφωση αυτή είναι η ίδια που επηρέασε και τα πετρώματα της Περμοτριάδικής ακολουθίας.

ε. Οφιόλιθοι και συνοδά ιζήματα

Οι οφιολιθικές μάζες και τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας που εμφανίζονται στο χώρο της Πελαγονικής είναι αλλόχθονοι σχηματισμοί που προέρχονται από τους ωκεάνιους χώρους της Παλαιο - Τηθύος και της Νέο - Τηθύος από όπου και επωθήθηκαν πάνω στο Μεσοζωικό ανθρακικό κάλυμμα. Τα σημαντικότερα υπολείμματα των επωθημένων αυτών μαζών τα συναντάμε στο Βούρινο της Κοζάνης (Δίαυλος Κοζάνης) και στην Εύβοια (Δίαυλος Εύβοιας).

Κατά την επώθηση των οφιολίθων πάνω στο ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής σχηματίστηκε ένας τεκτονικός σχηματισμός που χαρακτηρίζεται ως τεκτονικό οφιολιθικό μίγμα ή τεκτονικό οφιολιθικό melange. Ο σχηματισμός αυτός προήλθε από τη συσσωμάτωση μικρών και μεγάλων τεμαχίων του ασβεστόλιθου, τμημάτων του πέλματος των λεπιών του οφιολίθου και μέρους των ιζημάτων βαθιάς θάλασσας και προκλήθηκε υπό την επίδραση των τεκτονικών δυνάμεων.

στ. Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού

Τα θαλάσσια ιζήματα της Μέσο - Άνω Κρητιδικής επίκλησης τοποθετούνται ασύμφωνα πάνω στα ήδη πτυχωμένα Τριαδικοϊουρασικά πετρώματα του ανθρακικού καλύμματος και πάνω στους οφιολίθους και τα συνοδά πελαγικά ιζήματα, όπου αυτά υπάρχουν. Η επίκληση με την αντίστοιχη απόθεση ιζημάτων άρχισε το Κενομάνιο - Τουρώνιο του Μέσου – Άνω Κρητιδικού ή κατά περίπτωση το Σαντώνιο - Μαιστρίχτιο του Άνω Κρητιδικού. Η στρωματογραφική διάρθρωση των Μέσο - Άνω Κρητιδικών ιζημάτων είναι η ακόλουθη:

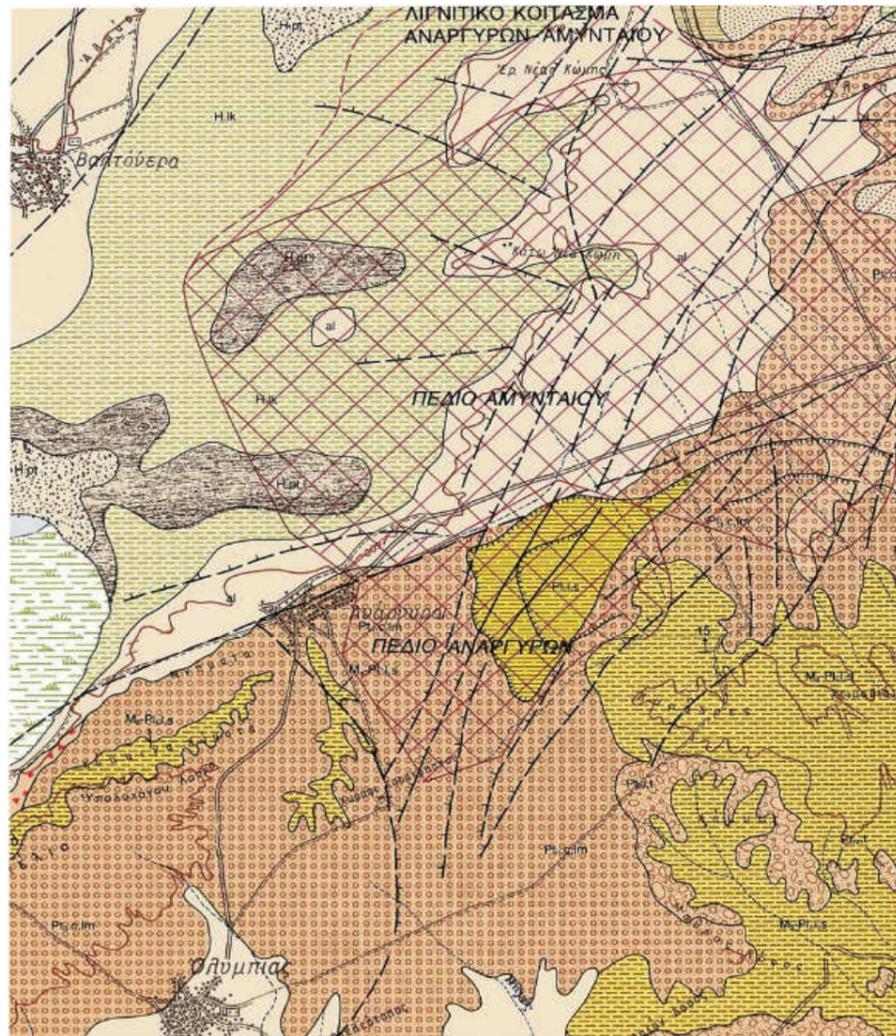
- 1) Κροκαλοπαγή, μικρολατυποπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Κενομάνιο - Τουρώνιο)
- 2) Μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι (Σαντώνιο - Μαιστρίχτιο).
- 3) Συμπαγείς ασβεστόλιθοι με απολιθώματα *Orbitoides media* (Μαιστρίχτιο).
- 4) Φλύσχος που στην αρχή είναι σχιστώδης ασβεστιτικός, εξελίσσεται σε ασβεστοπηλιτικό - ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλιτικό - κροκαλοπαγή (Άνω Μαιστρίχτιο - αρχές Παλαιοκαίνου).

ζ. Νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα

Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα αποθέτονται σε λεκάνες τεκτονικές και μη που σχηματίστηκαν μετά το τέλος των πτυχώσεων. Η λεκάνη Φλώρινας – Πτολεμαΐδας είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα τεκτονικής λεκάνης η οποία είναι πληρωμένη με ιζήματα χερσαίας, ποταμοχειμάριας και λιμναίας προέλευσης τα οποία περιλαμβάνουν και τους λιγνίτες. Τα ιζήματα της λεκάνης από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι:

- 1) Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες και ξυλίτες Ανώτερου Μειοκαίνου – Κατώτερου Πλειοκαίνου.
- 2) Ψαμμιτικές μάργες, μάργες, ψαμμίτες και κυρίως άργιλοι με παρεμβολές λιγνιτικών στρωμάτων ηλικίας Πλειοκαίνου.
- 3) Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, και ερυθροπηλοί Πλειστοκαίνου.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΦΥΛΛΟΥ " ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ "



Α. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΥΠΟΜΝΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ
ΟΛΟΚΑΙΝΟ (ΜΕΤΑΒΟΥΡΜΙΟ)

Σύγχρονες αλλοθωμένες αποθέσεις: άμμοι, αμμορώδες άργιλοι, χαλίκια, που έχουν πρόσφατα πλήρως κοίτες ριμάτων, μικρές λεκάνες και τα χαμηλότερα τμήματα των πεδίων Πτολεμαΐδας, Βεγόρας, Αμυνταίου, Βαϊτόνερας και Γαλάττας. Περιλαμβάνονται και χαμηλές αναβθιμένες κοβές επίσης και πλευρικά κορήματα και κύρια κορήματα μικρού πάχους και μικρής έκτασης, που είναι αδύνατον να διαχωριστούν από αυτή την κλίμακα από τις προσχώσεις, στις μικρές κυρίως λεκάνες και στα στενά ρέματα. Στις μικρές κλειστές λεκάνες απαντά κυρίως σύναγμα με υλικό από τα περιβάλλοντα πετρώματα.

Σύγχρονες τυφάνες

Πρόσφατες λιμνικές αποθέσεις: λεπτόκοκκες άμμοι, αμμορώδες-ασβεστούχες άργιλοι, ασβεστολιθική ιλύς, οργανική ιλύς. Με κελύφη ή θραύσματα κελυφών σύγχρονων αντιπροσώπων από τα γένη: *Urosalpinx*, *Planorbis*, *Melanoisaris*, *Congeria* κ.ά. Καταλαμβάνουν παραλίμνιες περιοχές των λιμνών Βεγορίτσας, Πετρίων και Χειμαδίτσας.

Τύφφη: καστανόμαυρης χροιάς, τύπου καλαμοφθαθόφυτης. Καταλαμβάνουν την παραλίμνια ζώνη της λιμνής Χειμαδίτσας. Πάχος: στη μεγαλύτερη έκταση δεν ξεπερνά τα 2 m, αλλά προς την περιοχή του Λιμνοχωρίου φθάνει τα 6 m.

Τυφωμένες άργιλοι: υποκείται της τύφφης και εμφανίζεται συνήθως στην περιμετρική ζώνη αυτής ή καλύπτει περιοχές που δεν έχει απειθεί καθαρή τύφφη ή το πάχος της ήταν πολύ μικρό και με την άρση έχει δημιουργηθεί ένα εκτεταμένο επιφανειακό στρώμα συμφύρματος από ημισοσυντεθιμένα κελύφη και αργιλοαργιλική ύλη (τυφωχώματα και εδοφοποιημένη τύφφη). Πάχος: δεν υπερβαίνει τα 1m.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ
ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ (ΒΟΥΡΜΙΟ)

Χερσαίες αναβθιμένες: κλαστικά επάλληλα επικαλύμματα διατεταγμένα σε υψομετρική διαφορά από 60 m. Προς τη βάση τους αποτελούνται από σταδινόμοτο χαλαρό κροκαλοαλυτοπαγές με πελώ θεμελιώδη μαζά αργιλοαλυτοπαγές. Οι συμμετέχουσες κροκάλες προέρχονται προφανώς από παλαιότερα παλαιότερα κλαστικά υλικά. Προς τα πάνω εξελίσσονται σε χαλκοειδείς αμμοαργιλικό στρώμα με μαργαλικούς, σκανανίτου σχήματος, κοινόλους και καταλήγουν σε λεπτό ερυθροκόκκινο αργιλομαργαλικό επίστρωμα. Εμφανίζονται στην περιοχή Λακκιάς (ύψος: 580-620 m) και δυτικά του Περίδικου (ύψος: 630-650 m).

ΜΕΣΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ (ΜΙΝΔΕΙΟ)

Χαλαρά κροκαλοπαγή και ερυθροί πηλοί: ποταμο-χειμάρειες αποθέσεις από εναλλαγές ερυθροκόκκινων αμμοειδών αργίλων, χαλαρών σταδινόμοτων κροκαλοαλυτοπαγών, ερυθρών πηλών και, σπανιότερα, κτηνοεπιβλητών αργιλικών άμμων. Οι κροκάλες και λιπίτες αποκλειστικά από γνευσιοσχιτολίθια πετρώματα και χαλαίτες. Επικρατούν στο δυτικό ήμισυ του φύλλου. Λαμβάνουν το μεγαλύτερο πάχος τους (περίπου 60-70 m) προς τα δυτικά, από όπου και η πηγή τροφοδοσίας, ενώ αποφθινώνονται προοδευτικά προς τα ανατολικά. Το υλικό προς το εσωτερικό της λεκάνης γίνεται περισσότερο λεπτοκλαστικό σε σχέση με τα περιθώρια της, όπου συμμετέχουν μεγαλύτερου μεγέθους κροκάλες, τροχίλλες αλλά και σφελίθες, κυρίως χαλαζικοί. Γενικά, από πλευράς λιθολογικής σύστασης, μοιάζουν πολύ με ανατολικό κλαστικά υλικά της λεκάνης (στρώματα Βαρδία). Πάχος: έως 60-70 m.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Λιγνιτοφόρος σχηματισμός Πτολεμαΐδας: λιμνικές και λιμνοτελιστικές αποθέσεις. Ενεργοποιημένα στρώματα αργίλων, αργιλικών άμμων και ιλύων, απολιθωτοφθέρων με τεφρή έως τειροφθέρων χροιά συγκροτούν τα ανώτερα μέρη της σειράς. Στο περιθώριο της τότε λιμνής (B της Λακκιάς, N του Όρους Τογιά - Αγ. Χριστοφόρου), Αναργύρων Αμυνταίου (και τα δύο σε εκμετάλλευση) και Περίδικου, και λευκές μάζες κατά κανόνα απολιθωτοφθέρους (*Planorbis*, *Valvata* κ.ά.). Τα μεσαία μέρη αποτελούνται από εναλλαγές μαργαλικών, αργιλικών και λιγνιτικών στρωμάτων με σπάνιες τοπικές παρεμβολές αργιλικών άμμων και ασβεστολιθικής ιλύος. Στη λιγνιτοφόρα αυτή σειρά ανήκουν τα λιγνιτικά κοιτάσματα Πτολεμαΐδας (στο Ν.Α. άκρο του φύλλου, περιλαμβάνονται ένα τμήμα του Πεδίου του Όρους Τογιά - Αγ. Χριστοφόρου), Αναργύρων Αμυνταίου (και τα δύο σε εκμετάλλευση) και Περίδικου. Το μέγιστο πάχος της λιγνιτοφόρας σειράς ανέρχεται σε 140 m (κοιτάσμα Αναργύρων). Τα κατώτερα μέρη του σχηματισμού αποτελούνται από εναλλαγές αμμοειδών αργίλων, λεπτόκοκκων αργιλικών άμμων και σπανιότερα μαργών με σφή επικράτηση των άμμων. Συχνές οι πλευρικές μεταβάσεις. Το πάχος του όλου σχηματισμού ανέρχεται περίπου στα 250 m, ενώ προς τους περιφερειακούς τομείς λεπτινείται σημαντικά (70 περίπου μέτρα στο κοιτάσμα Περίδικου). Παρατηρείται κανονική μετάβαση προς τους υποκείμενους κατω-πλειοκαινικούς - ανω-μειοκαινικούς σχηματισμούς με τοπικές ασυμφώνιες προς τα περιθώρια. Πλήρης απουσία του σχηματισμού Πτολεμαΐδας σημειώνεται, λόγω μη απόθεσής του, στους περιφερειακούς τομείς της λεκάνης, οι οποίοι κατά την περίοδο αυτή είχαν αναδοθεί (Κορινθιά, Βαρδία, Κλαδί - Λετιάς).

Απολιθώματα: Για στερόπια (Δ. ΒΕΤΟΥΛΗΣ, 1956, F. GRAMMAN, 1969).

ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Λιγνιτοφόρος σχηματισμός Κορινθιάς: λιμνοτάμιες, ελάδες και ποτάμιες αποθέσεις. Τα ανώτερα μέρη συγκροτούνται από εναλλαγές αργίλων και άμμων με σκληρές φακοειδείς ενστρώσεις φωμίτων και ιλυοίλων, μεταπίπτουν δε προς τα κάτω σε στρώματα ιλύος, κατά θέσεις ασβεστούχου, με οστρακώδη και διάτομα και φακοειδείς παρεμβολές αργίλων, άμμων και μαργών. Τα μεσαία μέρη αποτελούνται από εναλλαγές λιγνιτών ξυλώδους υφής (ξύλιτες), άμμων, αργίλων, ιλύος και, σπανιότερα μαργών.

Β. ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΥΠΟΜΝΗΜΑΤΟΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Γεωλογικό όριο — Γεωλογικό όριο πιθανό

Ρήγμα — Ρήγμα καλυμμένο ή πιθανό

Ρήγμα καλυμμένο, διαπιστωμένο από γεωτρήσεις με κατεύθυνση βύθισης

Επίπευση

Άξονας κεκλιμένου αντικλίνου — Άξονας κεκλιμένου συγκλίνου

Διεύθυνση και κλίση στρωμάτων — Οριζόντια στρώματα

Διεύθυνση και κλίση σχιστότητας — Κατακόρυφη διάταξη σχιστότητας

Προσανατολισμός σχιστότητας μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Θέση απολιθωμάτων

Δολίνες

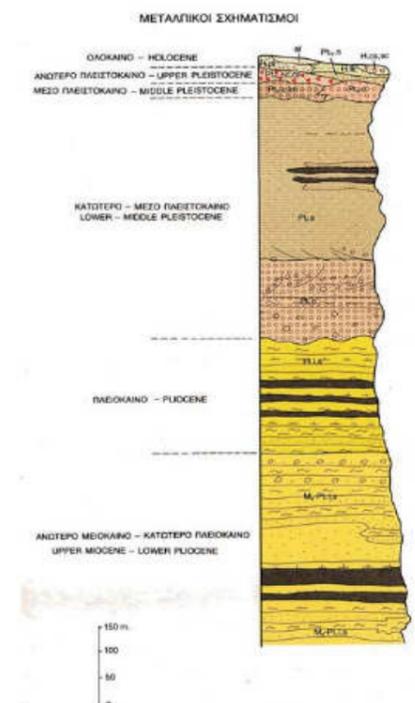
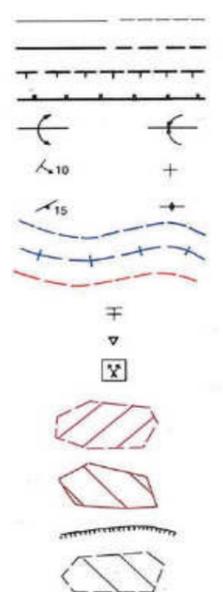
Λατομείο ενεργό (ψηφίδα και άμμου)

Λιγνιτικό κοιτάσμα

Λιγνιτικό μεταλλευτικό πεδίο

Υπαίθρια εκμετάλλευση λιγνίτη

Εργοστάσιο κατανάλωσης λιγνίτη



Σχήμα 3.3: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, απόσπασμα φύλλου " Πτολεμαΐδα ", Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1997.

3.3 Νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων στη Δυτική Μακεδονία

Η νεοτεκτονική και σύγχρονη τεκτονική δράση της περιοχής είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αντίστοιχη δράση του ευρύτερου Ελληνικού χώρου (Αιγαίο και γύρω περιοχές), η οποία βρίσκεται κάτω από ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο που δρα από το Μέσο- Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα.

Η αρχική μεγάλη λεκάνη Φλώρινας-Πτολεμαΐδας, που αναπτύχθηκε κατά τη διεύθυνση του κύριου ορεογραφικού άξονα των Ελληνίδων, δηλαδή ΒΔ-ΝΑ, και οι σχεδόν κάθετες σ' αυτή υπολεκάνες έχουν τεκτονική προέλευση. Σαν πιθανότερη ηλικία της αρχικής δημιουργίας της λεκάνης θεωρείται εκείνη του Μέσου-Ανώτερου Μειόκαινου.

Δύο κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων δεσπόζουν στην περιοχή, η πρώτη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης συνδέεται με τα αρχικά στάδια εξέλιξης της λεκάνης και η δεύτερη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με τα νεότερα στάδια (Λουπασάκης, 2006). Τα ρήγματα της 1ης διεύθυνσης έχουν μεγάλο μήκος, αλλά είναι καλυμμένα στο μεγαλύτερο τους μέρος με νεότερα ιζήματα. Τα συνιζηματογενή ρήγματα με μεταβαλλόμενο άλμα που παρατηρήθηκαν στα Πλειστοκαινικά ιζήματα συνηγορούν για το ότι η περιοχή βρίσκεται σε τεκτονική δράση από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι τουλάχιστον το Μέσο Τεταρτογενές συνεχώς, αφετέρου είναι ενδείξεις για μια πιθανή συνεχιζόμενη ενεργό τεκτονική δράση. Πέρα από αυτά όμως, για ορισμένα ρήγματα της περιοχής υπάρχουν επιπρόσθετα στοιχεία για την ενεργό δράση τους.

Μετά από εξέταση των κύριων τεκτονικών δομών και τον προσδιορισμό των κινηματικών αξόνων των διαφόρων τεκτονικών κινήσεων που συνέβησαν στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας, διαπιστώνονται τα ακόλουθα συμπεράσματα αναφορικά με το πεδίο των τεκτονικών φάσεων και τη γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής (Λουπασάκης, 2006).

- Κατά τη διάρκεια του Ανωτέρου Μειοκαίνου και πριν από την απόθεση των λιμναίων ιζημάτων, εκδηλώθηκε εκτεταμένη εφελκυστική φάση, η διεύθυνση της οποίας υπολογίστηκε σε ΒΒΑ-ΝΝΔ. Αυτή ήταν υπεύθυνη για την αρχική δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος της λεκάνης και τη δημιουργία ή επαναδραστηριοποίηση κανονικών ρηγμάτων με κύρια διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Το εφελκυστικό αυτό πεδίο επηρέασε ιζήματα του Κατώτερου Πλειστοκαίνου, άρα η δράση του επεκτείνεται σ' ολόκληρο το Ανώτερο Νεογενές. Το εφελκυστικό αυτό πεδίο των τάσεων είχε σταθερή ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση σ' ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο του Αιγαίου.

- Μια μετα-Μεσομειοκαινική συμπιεστική φάση προηγήθηκε ή διέκοψε τον εφελκυσμό του Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου. Η διεύθυνσή της ήταν ΑΒΑ-ΔΝΔ.

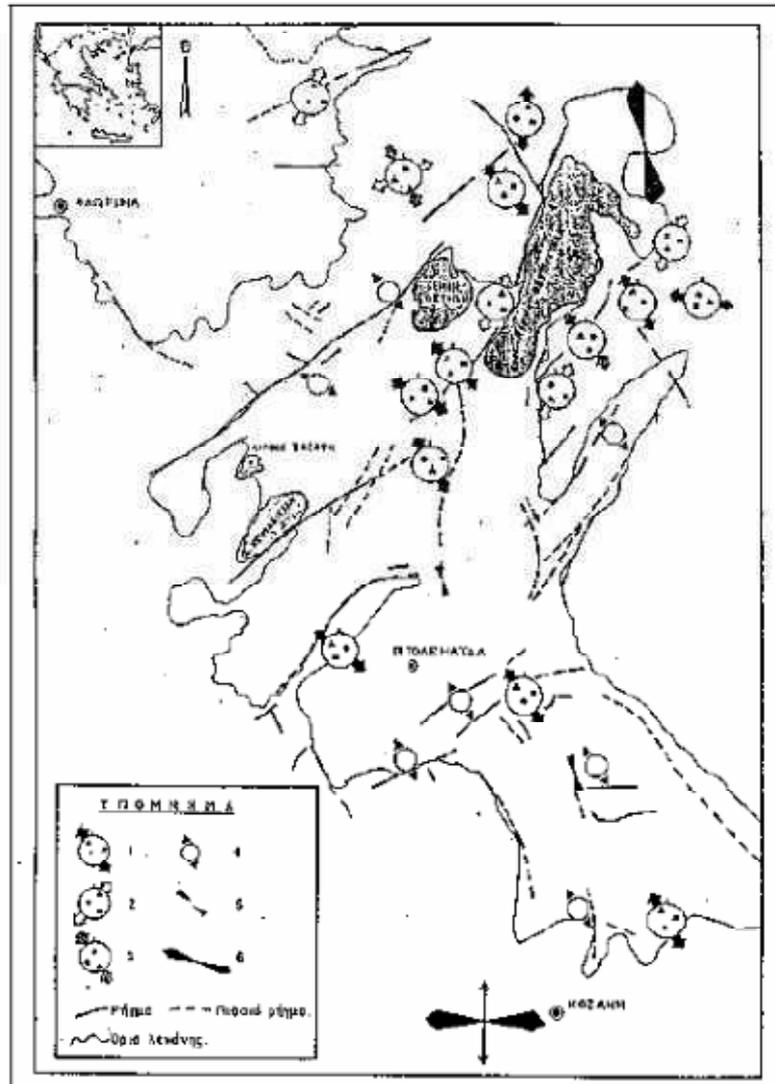
Μια δεύτερη ομάδα συμπιεστικών τεκτονικών επεισοδίων που δημιούργησε ανάστροφα ρήγματα ΒΑ- ΝΔ και επιπτεύσεις τοποθετείται μεταξύ Ανώτερου Πλειόκαινου και Κατώτερου Πλειστόκαινου. Πρόκειται για μικρής έκτασης ασθενικά φαινόμενα συμπίεσης. Η διεύθυνση των συγκεκριμένων πιθανών συμπιεστικών τάσεων είναι ΒΒΔ-ΝΝΑ με ταυτόχρονη συνιστώσα εφελκυσμού ΑΒΑ-ΔΝΔ. Για τα φαινόμενα αυτά δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα αν συγκροτούν μία ενιαία τεκτονοφάση ή αποτελούν τοπικά συμπιεστικά επεισόδια.

- Κατά το Πλειοπλειστόκαινο (μετά το πέρας της Πλειοκαινικής ιζηματογένεσης) και μέχρι σήμερα αναπτύσσεται ένα νέο πεδίο εφελκυστικών δυνάμεων διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Το πεδίο αυτό δημιούργησε μεγάλα μεταποθετικά κανονικά ρήγματα με κύρια διεύθυνση ΒΑ- ΝΔ, τα οποία επηρέασαν τα Πλειοκαινικά ιζήματα ή επαναδραστηριοποίησαν παλαιότερες ρηξιγενείς γραμμές. Η εφελκυστική φάση του Τεταρτογενούς και τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα έπαιξαν τον πιο ουσιαστικό ρόλο στη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής. Η τεκτονική αυτή φάση συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, όπως διαπιστώνεται από πολύ πρόσφατες επαναδραστηριοποιήσεις ρηγμάτων τόσο στα ιζήματα όσο και στους ασβεστόλιθους των ανατολικών περιθωρίων της λεκάνης. Το εκτεταμένο αυτό πεδίο της Τεταρτογενούς περιόδου, το οποίο τεκμηριώνεται με γεωλογικές αποδείξεις, βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με μετρήσεις σύγχρονων τάσεων απευθείας (in situ) στη φύση. Ο χάρτης του Σχήματος 3.4 περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για το είδος και τη διεύθυνση των τάσεων που έδρασαν στη λεκάνη και τις γύρω περιοχές.

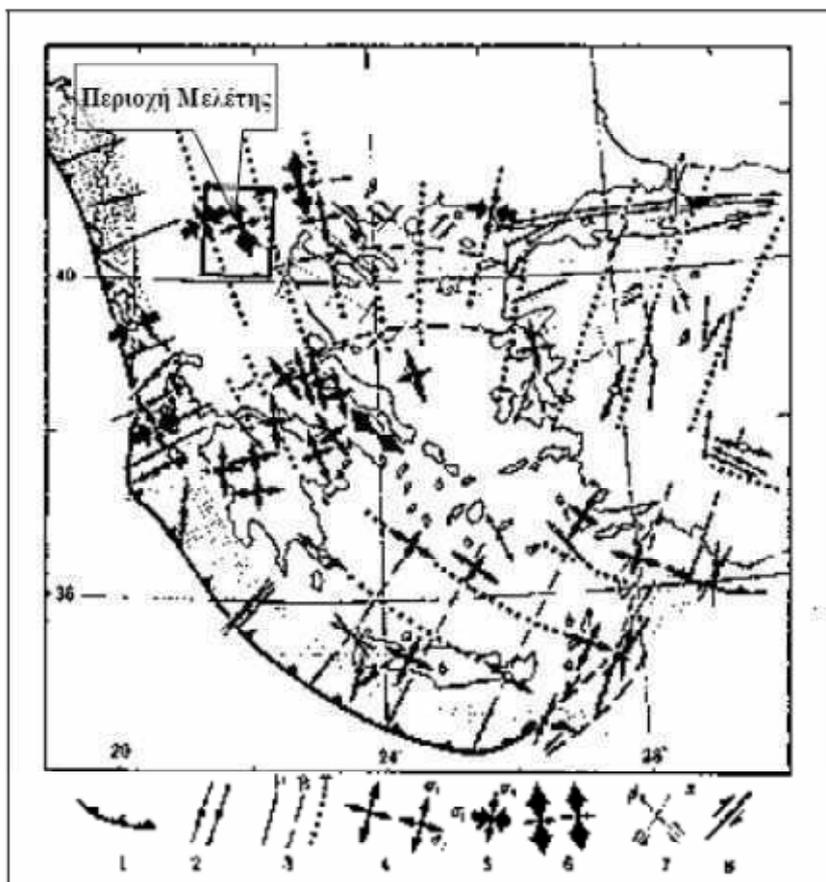
Οι νεοτεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, που ερευνήθηκαν στη Δυτ. Μακεδονία, είναι συνέπεια μιας ευρύτερης και ανάλογης δράσης σ' ολόκληρο το χώρο του Αιγαίου. Στην περιοχή της Δυτ. Μακεδονίας δεν είναι ακόμη με μεγάλη ακρίβεια προσδιορισμένη η φάση συμπίεσης του Ανώτερου Μειοκαινού. Δηλαδή δεν έχει προσδιορισθεί τόσο ο χρόνος δράσης της όσο και ο μηχανισμός αυτής. Η εφελκυστική φάση του Πλειόκαινου είναι παρόμοια με την αντίστοιχη που επικρατούσε στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου, τόσο στη χρονική διάρκεια όσο και στη διεύθυνση. Τα νεότερα συμπιεστικά επεισόδια στη λεκάνη τοποθετούνται χρονικά στο Ανώτερο Πλειόκαινο ή στο όριο Πλειο-Πλειστόκαινου χωρίς να έχει διευκρινιστεί ακόμη η φύση τους. Τέλος, η νεότερη φάση εφελκυσμού, που εκδηλώθηκε από το Κατώτερο Τεταρτογενές, ήταν ιδιαίτερα έντονη και φαίνεται ότι συνεχίζει μέχρι σήμερα.

Η γενική διεύθυνσή της και το είδος των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με το εκτεταμένο σύγχρονο εφελκυστικό πεδίο που επικρατεί στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου. Το πεδίο αυτό των εφελκυστικών τάσεων δεν είναι σταθερό στη διεύθυνσή του, αλλά μεταβάλλεται από ΒΑ διεύθυνση στη

Δυτική Τουρκία σε σχεδόν Β-Ν στο Κεντρικό Αιγαίο και Κεντρική Μακεδονία και τέλος σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση στη Δυτική Μακεδονία (Σχήμα 3.5).

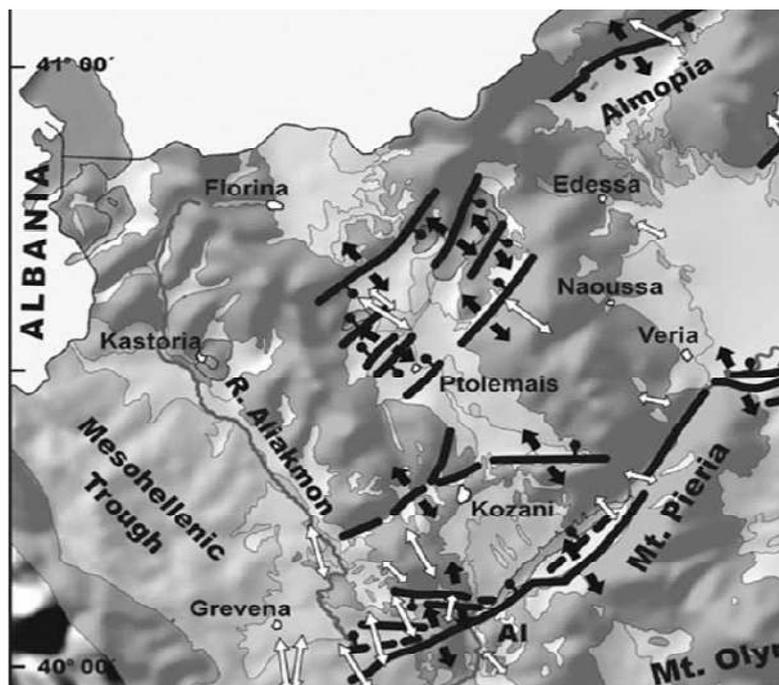


Σχήμα 3.5 Τεκτονικός χάρτης της περιοχής με πληροφορίες για το πεδίο των νεοτεκτονικών τάσεων, εφελκυστική φάση Τεταρτογενούς εφελκυστική φάση Ανώτερου Μειόκαινου Πλειόκαινου μηχανισμοί ρηγμάτων με συμπίεστική συνιστώσα τάσης γενική διεύθυνση Τεταρτογενούς εφελκυσμού που δεν έχουν υπολογιστεί οι κινηματικοί άξονες γενική διεύθυνση συμπίεσης διεύθυνση εφελκυσμού από τη situ μετρήσεις των τάσεων Pavnides Mountrakis



Σχήμα 3.1 Οι διευθύνσεις των κύριων αξόνων τάσης και το πεδίο των τεκτονικών τάσεων του Ελλαδικού χώρου. Σύνθεση από μηχανισμούς γένεσης επιφανειακών σεισμών, τεκτονική ανάλυση πρόσφατων και ενεργών ρηγμάτων και *in situ* μετρήσεις τάσεων οδρια λιθοσφαιρικής βύθισης, subduction ζώνη συμπίεσης εξωτερικά του Ελληνικού τόξου, οριζόντιες προβολές των διανυσμάτων κίνησης. Οι κύριοι άξονες τάσεων συμπίεση P, ενδιάμεσος B, εφελκυσμός T, προσδιορισμένοι από μηχανισμούς γένεσης σεισμών. Οι κύριοι άξονες τάσεων προσδιορισμένοι από νεοτεκτονική ανάλυση άξονες εφελκυσμού από *in situ* μετρήσεις τάσεων προβλεπόμενες δυνεις ρηγμάτων στο ΒΑΙγαίο ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης Παυλίδης.

Επισημαίνεται ο σημαντικός ρόλος των ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ ως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης στη σύγχρονη τεκτονική της ευρύτερης περιοχής. Τα ρήγματα αυτά δρουν σαν κύρια ρήγματα και σε συνδυασμό με τα αντιθετικά τους σχηματίζουν κλιμακωτά βυθίσματα κατά μήκος μιας αξονικής διεύθυνσης από τα βόρεια προς τα νότια (Εικόνα 3.1). Τέλος, μόνο βάσει γεωλογικών κριτηρίων, ορισμένα από τα παραπάνω ρήγματα μπορούν να χαρακτηριστούν ενεργά. Η περιοχή στο σύνολό της παρουσιάζει έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα και ήπια σεισμική δράση με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται από γεωλογικής πλευράς ενεργή.



Εικόνα 3.1 Πλήρης και γενικευμένος γεωλογικός χάρτης της Μακεδονίας στο οποίο απεικονίζεται η περιοχή Φλώρινας Πτολεμαΐδας Κοζάνης Σερβίων της Δ. Μακεδονίας Mountrakis et al.

3.3 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας

Η στρωματογραφία των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων της περιοχής έρευνας διέπεται από τους νόμους που καταγράφονται στο σύνολο των υπολεκανών που απαρτίζουν την μεταξύ Κοζάνης και Αμύνταιου περιοχή. Επομένως η στρωματογραφία των αποθέσεων που εντοπίζονται στην περιοχή έρευνας διαμορφώνονται ως εξής:

1. Νεογενείς Αποθέσεις

Τα νεογενή ιζήματα αποτέθηκαν μετά τη δημιουργία της μεγάλης τεκτονικής τάφρου που εκτίνεται από τα Σέρβια Κοζάνης, στα νότια, μέχρι τη Γιουγκοσλαβία, στα βόρεια.

Οι αποθέσεις αυτές διαχωρίζονται σε τρεις διακεκριμένες κατηγορίες ιζημάτων, όπως επικράτησε σύμφωνα με τις μελέτες της Διεύθυνσης λιγνιτικών ερευνών του ΙΓΜΕ, (Κούκουζας κ.α., 1979,1981).

A. την Ανώτερη σειρά (υπερκείμενη των λιγνιτών)

B. τη Λιγνιτοφόρο σειρά

Γ. την Κατώτερη σειρά (υποκείμενη των λιγνιτών)

A. Ανώτερη σειρά.

Η ανώτερη σειρά υπέρκειται της λιγνιτοφόρου σειράς και περιλαμβάνει δύο διαφορετικές στοιβάδες ιζημάτων διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης αλλά και διαφορετικού χρωματισμού. Οι στοιβάδες αυτές είναι:

α. Η ανώτατη στοιβάδα των κιτρινόφαιων λεπτομερών κλαστικών ιζημάτων η οποία αποτελείται από εναλλαγές ασβεστούχων άμμων, αργίλων και αμμούχων μαργών, καθώς και από φακοειδείς ενστρώσεις ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Η σειρά αυτή ανήκει στην ποταμολιμναία φάση ιζηματογένεσης και υπέρκειται ασύμφωνα επί της επόμενης στοιβάδας.

β. Η στοιβάδα των πρασινότεφων αργιλομαργαϊκών αποθέσεων. Η στοιβάδα αυτή συνίσταται από εναλλαγές αργίλων και αμμούχων ή αργιλούχων μαργών. Οι άμμοι σχεδόν απουσιάζουν από τα ιζήματα της φάσης αυτής η οποία ανήκει στη λιμναία φάση ιζηματογένεσης και επίκειται σύμφωνα της υποκείμενης λιγνιτοφόρου σειράς. Το πάχος της σειράς φθάνει μέχρι τα 100 περίπου μέτρα.

B. Λιγνιτοφόρος σειρά.

Η λιγνιτοφόρος σειρά περιλαμβάνει την ανώτερη και κατώτερη λιγνιτοφόρο στοιβάδα καθώς και την μεταξύ των δύο αυτών στοιβάδων ενδιάμεση σειρά των αποκαλούμενων ως "στείρων" ιζημάτων. Οι δύο λιγνιτοφόρες στοιβάδες αποτελούνται, όπως είναι λογικό, από το λιγνίτη και η ενδιάμεση από ανοικτότεφρες κυρίως μάργες, πάχους μέχρι 15 μέτρων. Το συνολικό πάχος της λιγνιτοφόρου σειράς φθάνει μέχρι τα 150 περίπου μέτρα και δεν παρουσιάζει κανένα υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Γ. Κατώτερη σειρά

Η κατώτερη σειρά περιλαμβάνει ένα ανώτερο και ένα κατώτερο τμήμα. Το ανώτερο τμήμα δομείται από τεφρές αργιλούχες μάργες κατά τόπους αμμούχες στις οποίες εντοπίζονται φακοειδείς ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Ενώ, το κατώτερο τμήμα αποτελείται από αμμώδεις αργίλους με μαργαϊκές ενστρώσεις. Το πάχος της σειράς αυτής υπερβαίνει τα 200 μέτρα. Πάνω από το στερεό υπόβαθρο της τεκτονικής λεκάνης τοποθετείται ερυθρό κροκαλοπαγές βάσης.

2. Τεταρτογενείς Αποθέσεις

Μετά την απόθεση των νεογενών ιζημάτων και τη δημιουργία των λιγνιτών, στις αρχές πλειστοκαίνου, εκδηλώθηκαν νέες τεκτονικές διαταράξεις οι οποίες προκάλεσαν κατακόρυφες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις τμημάτων της λεκάνης.

Οι νέες ταφροειδείς υπολεκάνες και τα εξάρματα που δημιουργήθηκαν προκάλεσαν την αφορμή για την έναρξη έντονων διαθρωτικών και αποσαθρωτικών

διεργασιών. Οι διεργασίες αυτές τροφοδότησαν τις νέες ταφροειδείς υπολεκάνες με άφθονο υλικό. Το συγκεκριμένο υλικό συνιστά τις τεταρτογενείς ποταμοχειμμάριες αποθέσεις και τους ριπιδοειδείς κώνους των λεκανών.

Τα τεταρτογενή ιζήματα αποτελούνται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις κροκαλοπαγών χαλαρών και συνεκτικών, ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών, άμμων, αργίλων με ποικίλης σύστασης κροκάλες ασβεστολιθικές, σχιστολιθικές, περιδοιτικές, διαβασικές και κερατολιθικές. Σε όλους σχεδόν τους τεταρτογενείς σχηματισμούς της ευρύτερης περιοχής μέχρι Φλώρινα αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες.

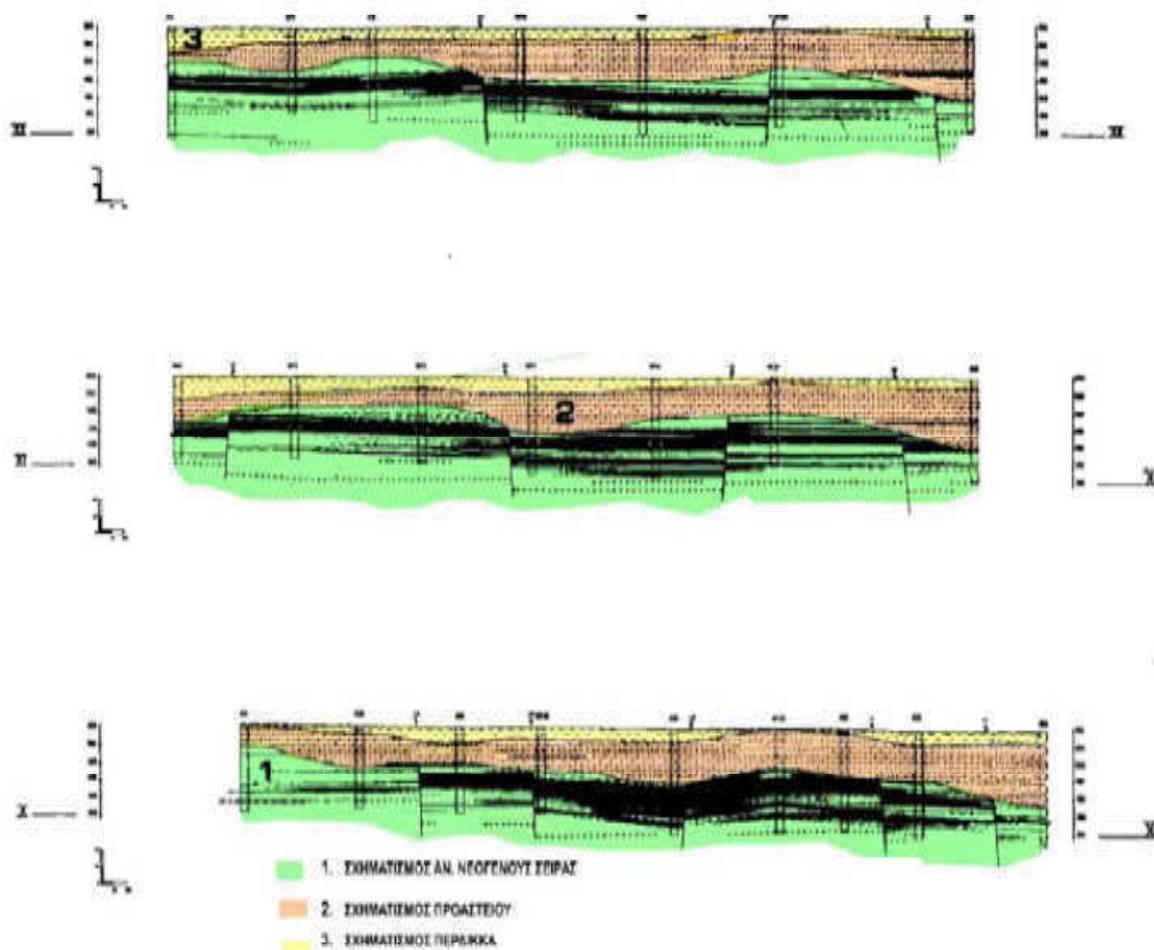
Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις διακρίνονται, από τα βαθύτερα προς τα επιφανειακά στρώματα, στους ακόλουθους σχηματισμούς (Λουπασάκης, 2006):

Σχηματισμό Προαστίου: Πρόκειται για ποταμοχειμμάριες αποθέσεις, Κάτω – Μέσο Πλειστοκαινικής ηλικίας (Βιλλαφράγκιο) (ΙΓΜΕ, 1997) οι οποίες επικάθονται ασύμφωνα πάνω στους λιγνιτοφόρους Νεογενείς σχηματισμούς. Γενικά, στο σύνολο της λεκάνης, ο συγκεκριμένος σχηματισμός αποτελείται από εναλλαγές χαλαρών κροκαλοπαγών και άμμων με ερυθρές αργίλους. Ενώ στην περιοχή έρευνας σύμφωνα με αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια γεωτεχνικών μελετών, αποτελείται από αργιλοϊλυώδεις άμμους με χαλίκια, ενώ στις βαθύτερες στιβάδες που υπόκεινται του πεδινού τμήματος εντοπίζονται και πιο λεπτομερείς φάσεις που αποτελούνται από αμμώδεις αργιλοϊλίες.

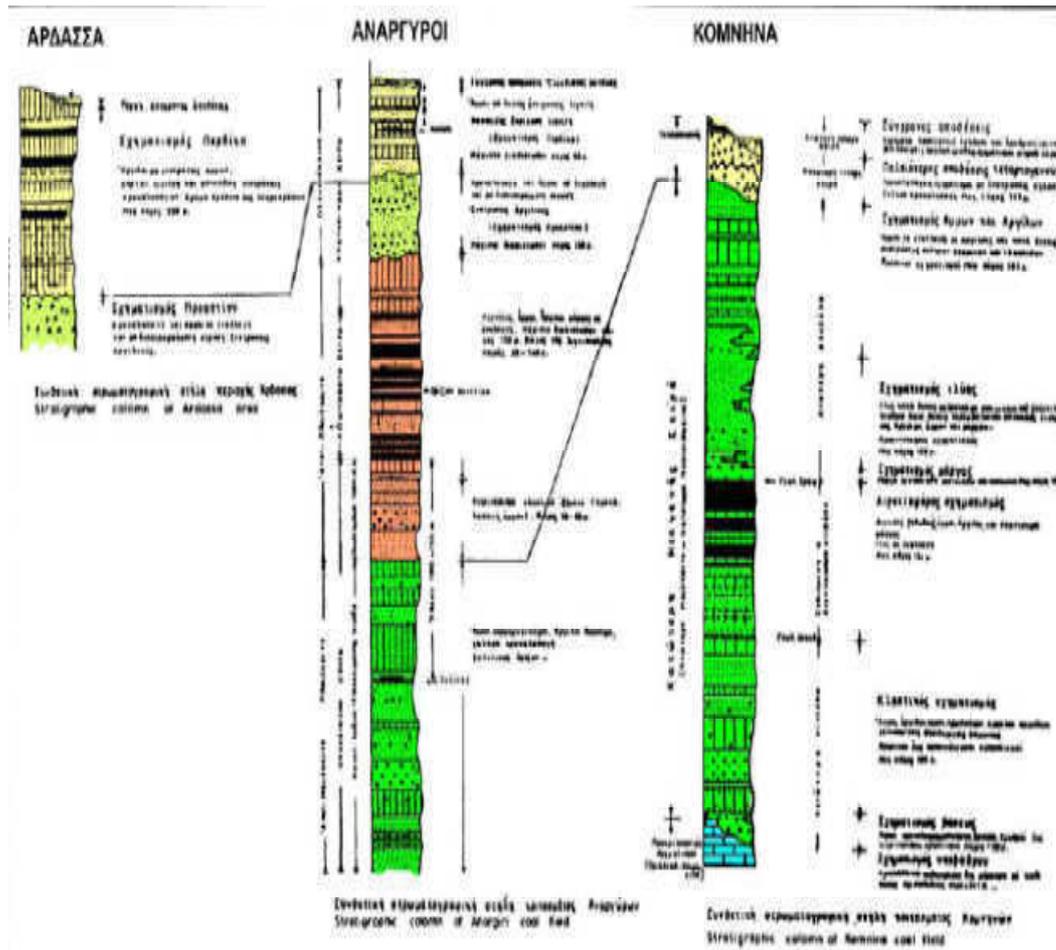
Σχηματισμός Περδίκας: Πρόκειται για ποταμολιμναία ιζήματα, Κάτω – Μέσο Πλειστοκαινικής ηλικίας (ΙΓΜΕ, 1997). Στο σύνολο της λεκάνης ο σχηματισμός Περδίκας αποτελείται από ενστρώσεις λεπτόκοκκης άμμου με εναλλαγές ενστρώσεων αμμούχων αργίλων και μαργών ως και φακοειδείς ενστρώσεις ψηφιδοπαγών κροκαλοπαγών με κροκάλες μικρού μεγέθους (Κούκουζας κ.α., 1979). Σύμφωνα με αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια γεωτεχνικών μελετών, ο σχηματισμός Περδίκας εντός των ορίων της περιοχής έρευνας αποτελείται από εναλλαγές αμμωδών αργιλοϊλύων με αργιλοϊλυώδεις άμμους. Από την εξέταση των πρικών του παρακείμενου ορυχείου Αμυνταίου προκύπτει ότι το πάχος του σχηματισμού, εντός των ορίων της περιοχής έρευνας μεταβάλλεται από 20 έως 70 m. Τα μεγαλύτερα πάχη εντοπίζονται στο εσωτερικό της λεκάνης, στο πεδινό τμήμα, ενώ τα μικρότερα στις παρυφές αυτής, κοντά στο χωριό. Επισημαίνεται ότι ο σχηματισμός αυτός απουσιάζει από τη λιθοστρωματογραφική στήλη των σχηματισμών που εκτείνονται στα ΝΑ ρήγματος των Αναργύρων (Κούκουζας, 1981).

Σχηματισμός Αναργύρων: Πρόκειται για ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, Μέσο-Πλειστοκαινικής ηλικίας, οι οποίες, όπως αναφέρεται και στο γεωλογικό χάρτη (ΙΓΜΕ,1997), στο εσωτερικό της λεκάνης και επομένως και εντός των ορίων της περιοχής έρευνας εμφανίζονται περισσότερο λεπτοκλαστικές σε σχέση με τα περιθώρια της λεκάνης. Ο σχηματισμός Αναργύρων σύμφωνα με τα αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων αποτελείται από αργιλοίλυδες άμμους ή λεπτές άμμους οι οποίες κατά θέσεις εμφανίζουν αργιλικές ενστρώσεις ή και φακούς με γωνιώδεις ψηφίδες.

Η προαναφερόμενη στρωματογραφική δομή τη λεκάνης παρουσιάζεται στις τομές των Σχημάτων 3.6 και 3.7 (Κούκουζας κ.α.,1979,1981).



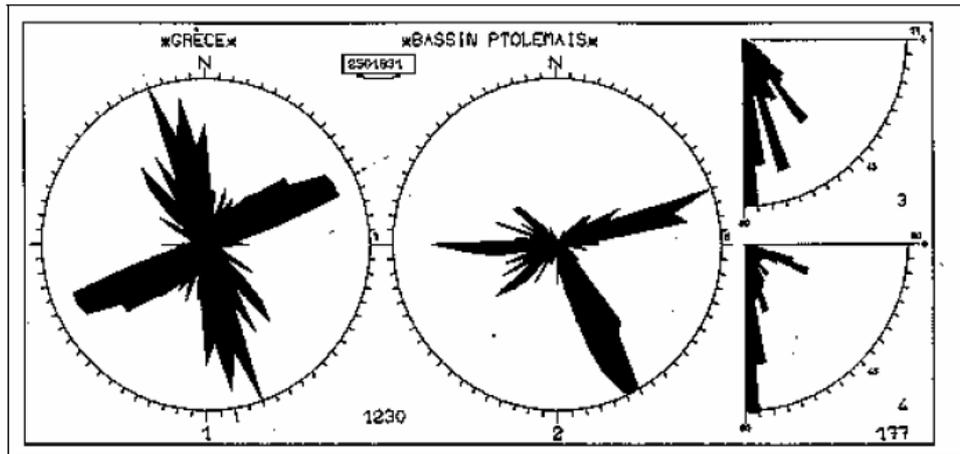
Σχήμα 3.6 Γεωλογικές τομές του κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου (Κούκουζας κ.α., 1979, 1981)



Σχήμα 3.3 Σκαρίφημα συσχέτισης των ατρωματογραφικών στηλών στις περιοχές Κομνηνών, Αναργύρων, Αρδάσσας, Κούκουζας κ.α.

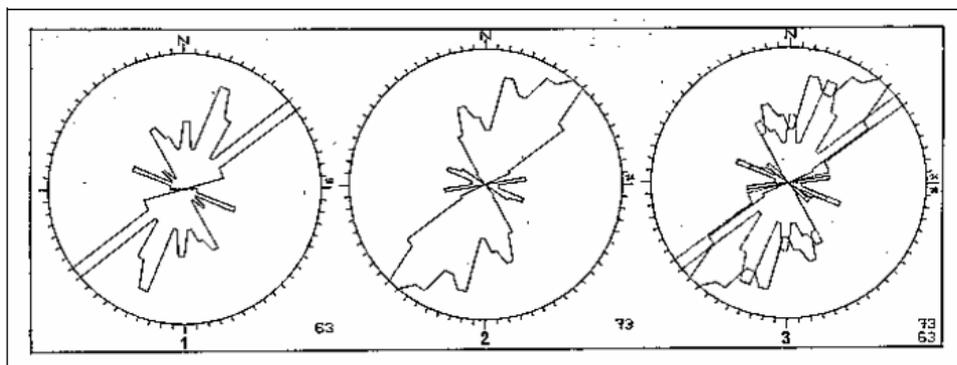
3.4 Τεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο που αφορά το νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων της δυτικής Μακεδονίας, οι δύο επικρατούσες διευθύνσεις των ρηγμάτων της περιοχής είναι ΒΔ- ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΑ-ΝΔ ως ΑΒΑ-ΔΝΔ (Παυλίδης, 1985). Οι δύο αυτές διευθύνσεις επιβεβαιώνονται και από τη στατιστική επεξεργασία (ροδοδιαγράμματα παρατάξεων) των μετρηθέντων στο ύπαιθρο τεκτονικών στοιχείων, τόσο από εκείνα των ασβεστολιθικών περιθωρίων της λεκάνης, όσο και από τα αντίστοιχα που παρατηρήθηκαν μέσα στα ίδια τα ιζήματα (Σχήματα 3.8 και 3.9). Ιδιαίτερα πρέπει να τονιστεί ότι οι διευθύνσεις των ρηγμάτων που παρατηρούνται στα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης σχεδόν ταυτίζονται με τις αντίστοιχες των ασβεστολιθικών πετρωμάτων των περιθωρίων της (Σχήμα 3.9). Η παρατήρηση αυτή σημαίνει ότι τα ρήγματα στα ιζήματα της λεκάνης ακολουθούν προϋπάρχουσες τεκτονικές γραμμές ή ότι μερικά από τα ρήγματα του υποβάθρου είναι νεοτεκτονικά.



Σχήμα 3.1. Στατιστική ανάλυση για τον προσδιορισμό των διευθύνσεων των κλίσεων και του είδους των διαρρήξεων της ευρύτερης περιοχής Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων Διάγραμμα του μέτρου των κλίσεων Διάγραμμα δόσης της κίνησης τυπική κίνηση οριζόντιας μετατόπισης τυπική κανονική κίνηση Παυλίδης

Από τη στατιστική επεξεργασία των τεκτονικών δεδομένων (Παυλίδης, 1985) τεκμηριώνεται η ύπαρξη των δύο κύριων συστημάτων ρηγμάτων, το πρώτο με παράταξη 170° - 180° και το δεύτερο 60° - 70° . Επιπλέον, από την παραπάνω στατιστική επεξεργασία προκύπτει ότι τα ρήγματα του πρώτου συστήματος (BBΔ-NNA) κλίνουν τόσο προς τα Α, ΒΑ όσο και προς τα Δ. Αντίθετα, η συντριπτική πλειοψηφία των ρηγμάτων του δεύτερου συστήματος (BA-NΔ) κλίνουν προς τα ΝΑ. Τέλος, οι κλίσεις του συνόλου των ρηγμάτων κυμαίνονται μεταξύ 45° - 90° , ενώ η πλειοψηφία τους είναι μεταξύ 80° - 90° , δηλαδή σχεδόν κατακόρυφα ρήγματα. Από τους κινηματικούς δείκτες που εντοπίστηκαν στις κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων, φαίνεται ότι τα περισσότερα από αυτά είναι τυπικά κανονικά ρήγματα.



Σχήμα 3.2. Ροδοδιαγράμματα παρατάξεων ρηγμάτων στους ασβεστόλιθους των περιθωρίων της λεκάνης Ρήγματα στα πλειοπλειστοκαινικά ιζηματα Σύγκριση των δύο ομάδων ρηγμάτων στο ίδιο διάγραμμα απ' όπου προκύπτει η σχεδόν απόλυτη ταύτισή τους Παυλίδης

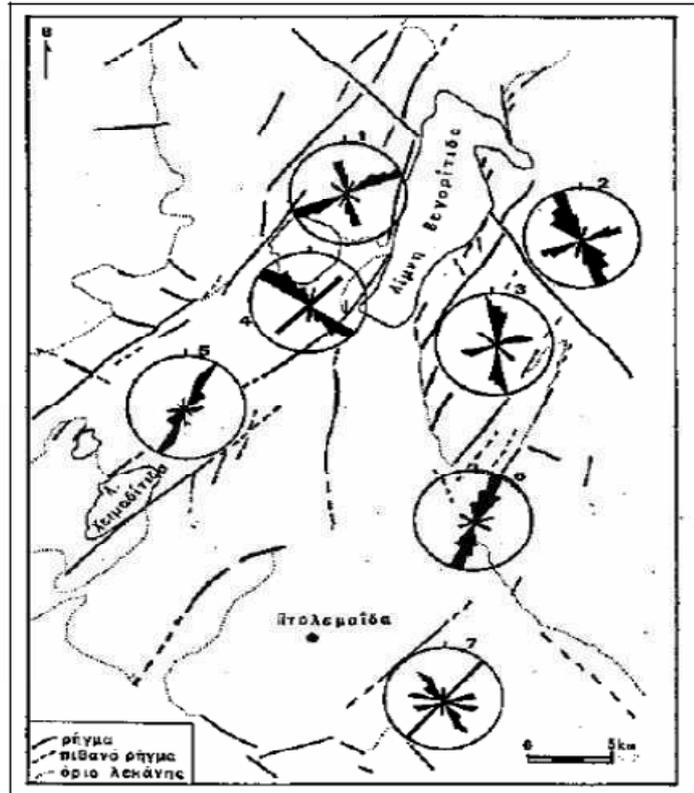
Μία από τις κύριες τεκτονικές γραμμές που δεσπόζουν στη δομή της περιοχής είναι το μεγάλο ρήγμα της Βεγορίτιδας, που ξεκινά από τη βόρεια πλευρά της λίμνης (οικισμός Άγιου Σπυρίδωνα), περνά από τον Άγ. Παντελεήμονα, φτάνει μέχρι τη Βεγόρα και συνεχίζει στη λεκάνη (Σχήμα 3.10). Η παράταξή του είναι ΒΒΑ-ΝΝΔ και το μήκος του στη ΒΔ πλευρά της λίμνης, την οποία οριοθετεί, είναι περίπου 12 χλμ. Είναι τυπικό κανονικό ρήγμα με νεοτεκτονική δράση.

Την πρόσφατη δράση του ρήγματος Βεγορίτιδας πιστοποιούν τα μικρά συνιζηματογενή ρήγματα που παρατηρούνται στους λόφους των κροκαλοπαγών του Σωτήρα τα οποία έχουν ηλικία ανώτερου Βιλαφράγγιου. Όλα τα μικρορήγματα έχουν άλματα που κυμαίνονται από λίγα εκατοστά μέχρι ένα μέτρο, είναι κανονικά και διευθύνονται ΒΑ-ΝΔ ως Α-Δ.

Στη συνέχεια του ρήγματος Βεγορίτιδας, με μια προς τα νοτιοανατολικά μετατόπιση εντοπίζεται το ρήγμα των Αναργύρων (Παυλίδης, 1985). Το ρήγμα των Αναργύρων έχει την ίδια διεύθυνση παράταξης με αυτό τις Βεγορίτιδας, διέρχεται μέσα από τον οικισμό των Αναργύρων και αναπτύσσεται προς τα νοτιοδυτικά οριοθετώντας τη λίμνη Χειμαδίτιδα. Η συνέχεια του ρήγματος αυτού εντοπίζεται και εντός του ορυχείου του Αμυνταίου. Από την αναδρομή στα σεισμικά δεδομένα της στενής περιοχής μελέτης διαπιστώθηκε ότι κάποια επίκεντρα σεισμών προσεγγίζουν τον άξονα του ρήγματος.

Οι επιφανειακές ρωγματώσεις που εντοπίστηκαν εντός του χωριού ακολουθούν τη διεύθυνση του συγκεκριμένου ρήγματος και πιθανόν να εκδηλώνονται στην προς την επιφάνεια συνέχεια του ρήγματος. Εντός των ορυχείων εντοπίστηκαν αρκετά ρήγματα παράλληλα σε αυτό της Χειμαδίτιδας – Αναργύρων. Τα ρήγματα αυτά έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ ως Α-Δ και προκαλούν την κλιμακωτή καταβύθιση των νεογενών αποθέσεων προς τα βόρεια.

Επισημαίνεται ότι εδαφικές διαρρήξεις λόγω εδαφικών υποχωρήσεων που εντοπίζονται εντός της περιοχής έρευνας έχουν παράταξη παράλληλη με αυτή των προαναφερόμενων ρηγμάτων (Λουπασάκης, 2006)



Σχήμα 3.1. Συνοπτικός τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπου φαίνονται τα ροδοδιαγράμματα παράταξης των μετρηθέντων ρηξιγενών επιφανειών. Οι διαρρήξεις στους τριαδικοϊουρασικούς ασβεστόλιθους νεοτεκτονικές διαρρήξεις σε ιζήματα Παυλίδης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

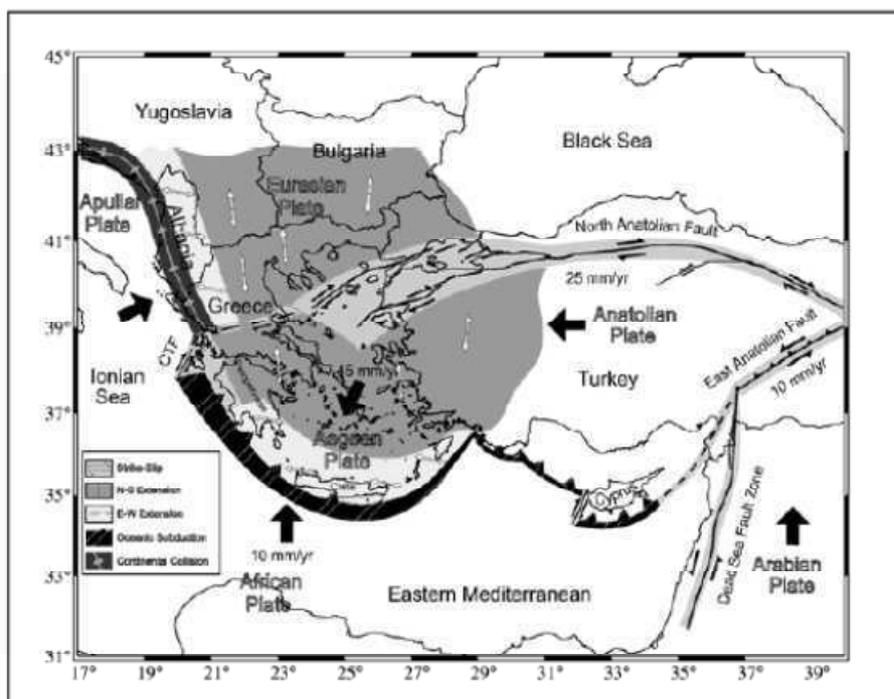
4.1 Γενικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην σεισμικότητα και στην σεισμική δραστηριότητα της περιοχής έρευνας, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές (Parazachos et al., 1997, Mountrakis et al., 2006, Λουπασάκης, 2006).

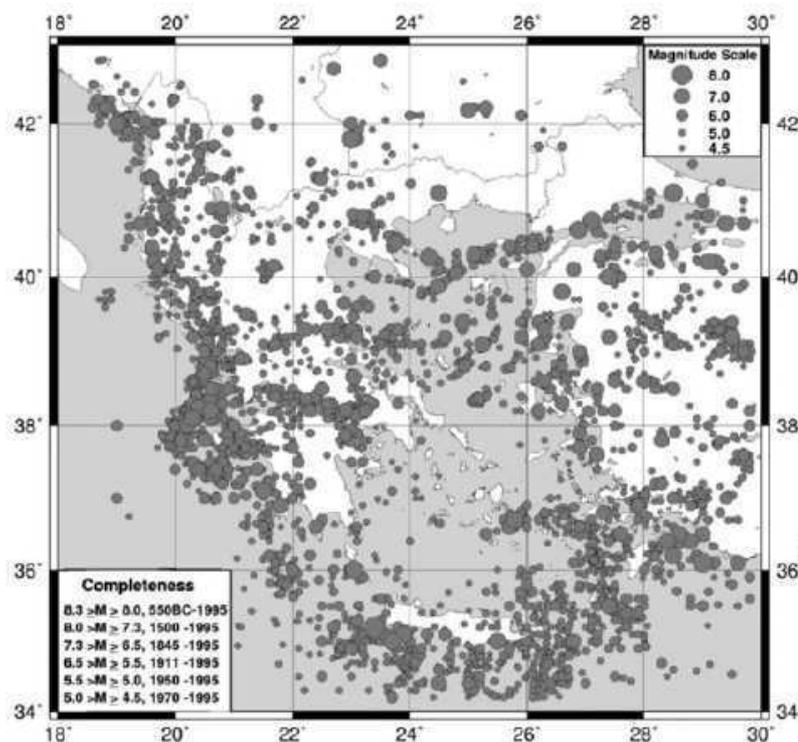
4.2 Σεισμικότητα της περιοχής

Με τον όρο «σεισμική δράση» περιγράφεται η κατά μέγεθος κατανομή σεισμών στο χώρο και στο χρόνο. Η ανάγκη για ποσοτικό προσδιορισμό της σεισμικής δράσης οδήγησε στον ορισμό της «σεισμικότητας», μιας αύξουσας δηλαδή συνάρτησης που εξαρτάται τόσο από το μέγεθος όσο και από τη συχνότητα (ετήσιο αριθμό) των σεισμών κάθε μεγέθους.

Η γεωγραφική κατανομή της σεισμικότητας εξαρτάται άμεσα από τις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών στον ευρύτερο χώρο της Βαλκανικής χερσονήσου (Σχήμα 4.1). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται άμεσα από τη σύγκριση των χαρτών των Σχημάτων 4.1 και 4.2.



Σχήμα 4.1: Κινήσεις των πλακών οι οποίες επηρεάζουν την ενεργό τεκτονική στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές (Parazachos et al., 1997).



Σχήμα 4.3 Γεωγραφική κατανομή επικέντρων επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές Parazachos

Από τη μελέτη των προαναφερόμενων χαρτών προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας εντοπίζεται σε περιοχή με ασθενή σεισμική δραστηριότητα (Λουπασάκης, 2006).

Το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. παρέχουν πλήρεις καταλόγους με δεδομένα από τους σεισμούς που έλαβαν χώρα εντός της Ελληνικής επικράτειας. Από την αξιοποίηση των καταλόγων αυτών προκύπτουν πίνακες, οι οποίοι περιέχουν δεδομένα για τους σύγχρονους σεισμούς που καταγράφηκαν από το 1901 έως το 2005, σε ακτίνα 20 km γύρω από την περιοχή έρευνας. Η χωρική κατανομή των αντίστοιχων επικέντρων παρουσιάζεται στο χάρτη του Σχήματος 4.3.



Σχήμα 4.1 Χωρική κατανομή σειμών όλων των μεγεθών που καταγράφηκαν σε ακτίνα 10km γύρω από την περιοχή έρευνας από το 1901 μέχρι έως το 2005. Για τους σειμούς με μέγεθος μικρότερο του 3.0 ο πίνακας δεν αναφέρεται τιμή μεγέθους. Στο χάρτη οι σειμοί αυτοί επισημαίνονται με το σύμβολο που αντιστοιχεί σε σειμούς με μέγεθος από 1.0 έως 2.0.

Από δεδομένα καταγραφών προκύπτει ότι στην ευρύτερη περιοχή έρευνας τα τελευταία 100 χρόνια δεν καταγράφηκε κανένας σεισμός με μέγεθος μεγαλύτερο του 4,5. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη χαμηλή σεισμικότητα της περιοχής.

Από τη χωρική κατανομή των επικέντρων προκύπτει ότι κατά μήκος των αξόνων των ρηγμάτων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.4 έχουν καταγραφεί σειμοί. Οι σειμοί αυτοί προκαλούν σαφείς υπόνοιες για τη σύγχρονη δράση των ρηγμάτων, αλλά τα σφάλματα στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης των επικέντρων δεν επιτρέπουν την άμεση συσχέτισή τους με τους άξονές τους.

4.3 Σεισμική επικινδυνότητα – σεισμικός κίνδυνος

Η σεισμική επικινδυνότητα σε μια θέση όπου υπάρχει ή πρόκειται να γίνει μια τεχνική κατασκευή είναι μια ποσότητα, Η, μέτρο της οποίας αποτελεί η αναμενόμενη ένταση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στη θέση αυτή. Η ένταση της σεισμικής κίνησης μπορεί να μετρηθεί με την εδαφική επιτάχυνση, γ (μέγιστη τιμή, φασματικές

τιμές κτλ.), με την εδαφική ταχύτητα, u , με την εδαφική μετάθεση, s , της σεισμικής κίνησης ή με την αναμενόμενη μακροσεισμική ένταση I .

Το αναμενόμενο τελικό κοινωνικό αποτέλεσμα της ισχυρής σεισμικής κίνησης σε μια θέση (βλάβες σε τεχνικές κατασκευές, θάνατοι κτλ.) ονομάζεται σεισμικός κίνδυνος, R , και εξαρτάται τόσο από τη σεισμική επικινδυνότητα της θέσης όσο και από τις ιδιότητες των ιδίων των κατασκευών (ποιότητα της κατασκευής, ιδιοπερίοδος, απόσβεση ταλάντωσης, πλαστιμότητα). Το μέτρο αυτών των ιδιοτήτων της τεχνικής κατασκευής ονομάζεται τρωτότητα, V , της κατασκευής. Από τα προαναφερόμενα προκύπτει ότι: $R=H*V$.

Οι σεισμολογικοί φορείς της χώρας πρότειναν το χωρισμό της χώρας σε τέσσερις κατηγορίες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας. Για κάθε μια από τις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, η σχέση μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, γ_m , και της μέσης περιόδου επανάληψης, T_m , δίνεται από τις ακόλουθες λογαριθμικές σχέσεις. Οι σχέσεις αυτές παρέχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού, για κάθε περιοχή της χώρας, των τιμών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης.

$$\log\gamma_m = 0.266\log T_m + 1.424 \text{ (Ζώνη I)}$$

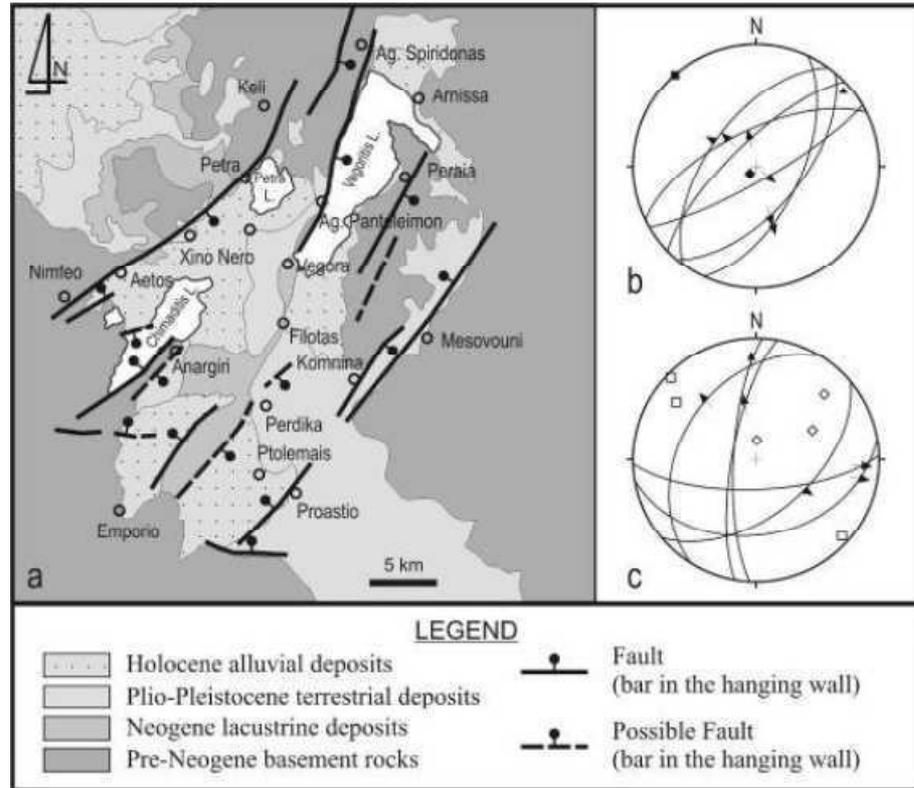
$$\log\gamma_m = 0.277\log T_m + 1.579 \text{ (Ζώνη II ή Ζώνη I μετά την τροποποίηση του ΕΑΚ)}$$

$$\log\gamma_m = 0.264\log T_m + 1.739 \text{ (Ζώνη III ή Ζώνη II μετά την τροποποίηση του ΕΑΚ)}$$

$$\log\gamma_m = 0.240\log T_m + 2.015 \text{ (Ζώνη IV ή Ζώνη III μετά την τροποποίηση του ΕΑΚ)}$$

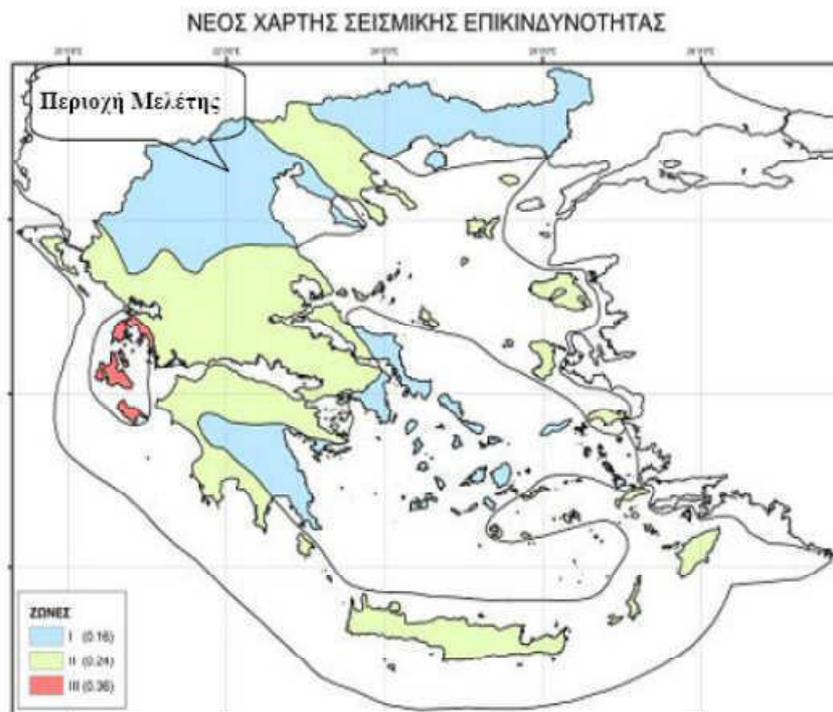
Μετά από την αναθεώρηση του ΕΑΚ 2000 (ΦΕΚ 1154B'/12-8-2003/Αποφ.Δ17α/115/9/ΦΝ275) η χωρική κατανομή αλλά και ο αριθμός των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας διαφοροποιήθηκε. Η τροποποιημένη χωρική κατανομή των ζωνών παρουσιάζεται στο χάρτη του Σχήματος 4.4. Η ουσιαστική τροποποίηση του χάρτη είναι η κατάργηση της ζώνης χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας (Ζώνη I) και η εννοποίησή της με τη ζώνη II.

Οι τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, γ_m , που έχουν υιοθετηθεί στον ΕΑΚ είναι περίπου το 80% εκείνων που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις.



Σχήμα 4.1 Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης του συστήματος ρηγμάτων Βεγοριτίδας-Πτολεμαΐδας. Η γενική κινηματική των ρηγμάτων του συστήματος και οι θέσεις των κινηματικών αξόνων. Τετράγωνο άξονας έκτασης, κύκλος άξονας συμπίεσης. Οι διμηχανισμοί γένεσης των σεισμών της περιοχής οι οποίοι παρουσιάζουν παρόμοια διεύθυνση μέγιστης έκτασης (Mountrakis et al., 2004).

Έτσι για περίοδο επανάληψης $T_m = 475$ έτη, οι αποδεκτές στον αντισεισμικό κανονισμό τιμές της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης είναι 0.16 g , 0.24 g και 0.36 g για τις ζώνες I, II και III, αντίστοιχα (Λουπασάκης, 2006).



Σχήμα 4.1.1 Οι τρεις κατηγορίες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας αναθεωρημένος χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας ΦΕΚ Β' Απόφαση ΦΝ

Η περιοχή έρευνας σύμφωνα με τον τροποποιημένο Αντισεισμικό Κανονισμό ΕΑΚ-2000 ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I και συνεπώς η τιμή της μέγιστης οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης στη συγκεκριμένη ζώνη είναι: $A=0,16 g$.

Σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό ΕΑΚ 2000, ο σχηματισμός στη θέση θεμελίωσης του έργου κατατάσσεται στην κατηγορία Γ. Οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων για τη συγκεκριμένη κατηγορία σχηματισμών είναι $T_1=0,20 \text{ sec}$ και $T_2=1,20 \text{ sec}$.

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι παρά το γεγονός ότι η οικιστική περιοχή έρευνας εντοπίζεται εντός της ζώνης με τη χαμηλότερη σεισμική επικινδυνότητα (ζώνη I), τα πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών θεμελίωσης απαιτούν τη λήψη ιδιαίτερης μέριμνας κατά την επιλογή του τρόπου θεμελίωσης των κατασκευών. Ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να λαμβάνεται και για την επιλογή του τρόπου θεμελίωσης, αν όχι για την επιλογή της θέσης κατασκευής των κατοικιών, και εξαιτίας του γεγονότος ότι κάτω από τους πληγέντες οικισμούς διέρχονται ρήγματα (Λουπασάκης, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

5.1 Γενικά στοιχεία

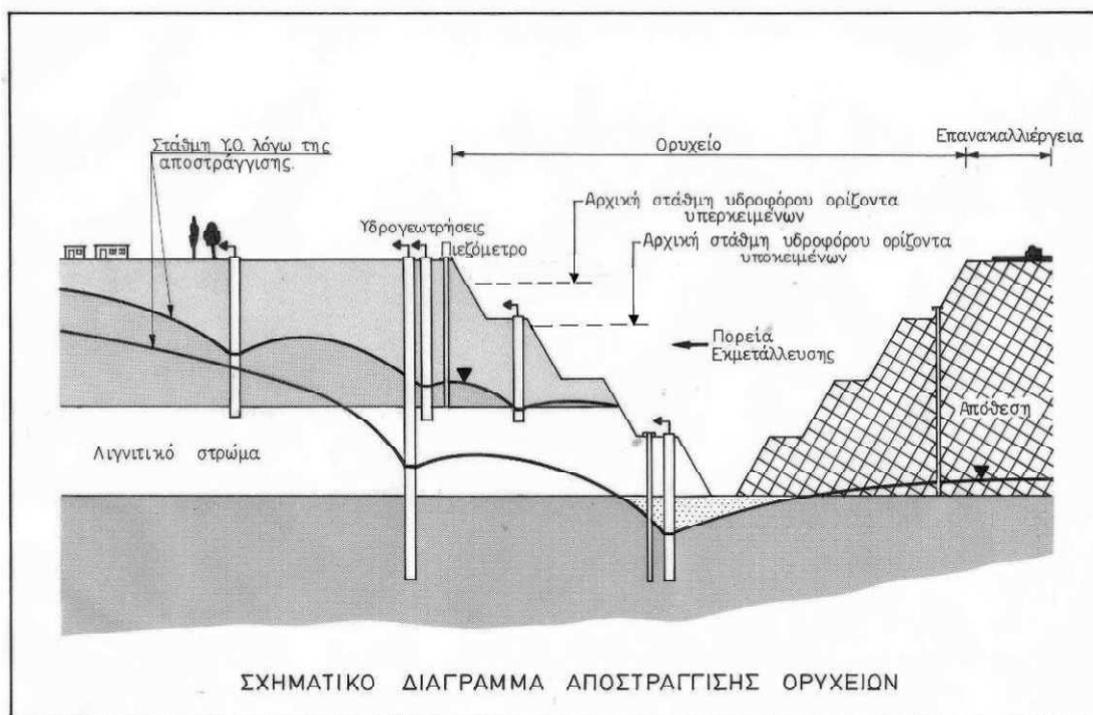
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής καθώς και στις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές (Δημητρακόπουλος, 2001, Λουπασάκης, 2006,) καθώς και σύμφωνα με στοιχεία επιτόπου μετρήσεων. Επισημαίνεται ότι προκειμένου να συλλεχθούν στοιχεία αναφορικά με το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής έρευνας στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε επίσκεψη το μήνα Απρίλιο του 2011.

5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας

Στο σύνολο της λεκάνης Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου εντοπίζονται επιμέρους υπολεκάνες οι οποίες διαχωρίζονται από τεκτονικές εξάρσεις. Οι κυριότερες από τις λεκάνες αυτές είναι, από νότο προς βορρά, οι εξής: α. Σαριγκιόλ, β. Πτολεμαΐδας, γ. Γαλάτειας- Ολυμπιάδας, δ. Αμυνταίου-Χειμαδίτιδας-Πετρών, ε. Φλώρινας, στ. Βατερού, ζ. Ξηρολίμνης (Λουπασάκης, 2006).

Στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στα τεταρτογενή ιζήματα. Εντός των τεταρτογενών αποθέσεων, αλλά και δευτερευόντως, εντός των υδροπερατών οριζόντων της ανώτατης στοιβάδας των νεογενών που υπέρκειται των λιγνιτικών οριζόντων, διαμορφώνεται υδροφόρος σημαντικού πάχους.

Οι πολυάριθμες γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στις τεταρτογενείς αποθέσεις απέδειξαν την ύπαρξη πλούσιων υδροφόρων οριζόντων οι οποίοι αξιοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης, της άρδευσης και της βιομηχανίας. Ο προσχωματικός υδροφόρος ορίζοντας της λεκάνης Αμυνταίου – Χειμαδίτιδας - Πετρών αναπτύσσεται και αυτός εντός των τεταρτογενών αποθέσεων. Στο συγκεκριμένο υδροφόρο επιπλέον των μεγάλων ποσοτήτων νερού που αντλούνται για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών των κατοίκων της περιοχής, σημαντικές απολήψεις νερού πραγματοποιούνται και από το δίκτυο γεωτρήσεων που λειτουργούν περιμετρικά του λιγνιτορυχείου Αμυνταίου (Σχήμα 5.2). Οι συγκεκριμένες γεωτρήσεις επιτυγχάνουν την τεχνητή ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου και εξασφαλίζουν την αποστράγγιση του χώρου του ορυχείου (Λουπασάκης, 2006).



Σχήμα 5.1 Σχηματικό Διάγραμμα Εκμετάλλευσης και αποστράγγισης ορυχείου
 Δημητρακόπουλος

Μετά την εξέταση της πιεζομετρικής κατάστασης της περιοχής (Απρίλιος 2011), με σταθμημετρήσεις στις υφιστάμενες γεωτρήσεις, διαπιστώθηκε ότι σε μια ακτίνα μισού χιλιομέτρου περίπου από το ορυχείο Αμυνταίου – στα δυτικά και βορειοδυτικά αυτού – παρατηρείται πτώση στάθμης που φτάνει έως τα 50 μέτρα.

Η υπεράντληση του συνόλου του υδροφόρου από τις αρδευτικές και υδρευτικές γεωτρήσεις αλλά και από τις γεωτρήσεις της ΔΕΗ έχει σαν αποτέλεσμα, τη δραστική μείωση των υδροαποθεμάτων και τη σταδιακή ταπείνωση της πιεζομετρική επιφάνειας στο σύνολο της έκτασης του υδροφόρου. Η έντονη ταπείνωση της στάθμης είναι ικανή να προκαλέσει φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων λόγω της ανακατανομής των γεωστατικών τάσεων. Ανάλογα φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί σε αντίστοιχους σχηματισμούς σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας, όπως στον κάμπο της Θεσσαλίας και στην περιοχή του Καλοχωρίου του Νομού Θεσσαλονίκης (Λουπασάκης, 2006).

Η διαφοροποίηση του πάχους των τεταρτογενών αποθέσεων εξαιτίας της ύπαρξης των ρηγμάτων, εφόσον συνδυαστεί με την εκδήλωση των καθιζήσεων είναι δυνατόν να προκαλέσει σημαντικές ανωμαλίες στην επιφάνεια των εδάφους. Οι ανωμαλίες αυτές θα είναι εντονότερες σε περιοχές που υπέρκεινται ρηγμάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλες μεταπτώσεις (Λουπασάκης, 2006).

Το ρήγμα των Αναργύρων αποτελεί το όριο του υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης Αμυνταίου – Χειμαδίτιδας - Πετρών. Επομένως οι όποιες κατακόρυφες μετατοπίσεις θα επηρεάζουν το τμήμα του χωριού που υπέρκειται του ανώτερου (βορειοδυτικού) τεμαχίου του ρήγματος και θα είναι εντονότερες κατά μήκος του άξονα του ρήγματος (Λουπασάκης, 2006).

5.3 Πιεζομετρικές συνθήκες των υπόγειων υδροφόρων της περιοχής έρευνας

Προκειμένου να διερευνηθούν οι πιεζομετρικές συνθήκες των υπόγειων υδροφόρων πραγματοποιήθηκε τον Απρίλιο του 2011 επίσκεψη στην περιοχή έρευνας. Κατά την επίσκεψη αυτή μετρήθηκαν οι στάθμες σε γεωτρήσεις προϋπαρχόντων δικτύων προκειμένου να καταστεί δυνατή η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής της στάθμης τους. Επιπλέον μετρήθηκαν οι στάθμες και σε νέες θέσεις προκειμένου να εμπλουτιστούν τα νέα δεδομένα κατά το δυνατό περισσότερο (Εικόνα 5.1).

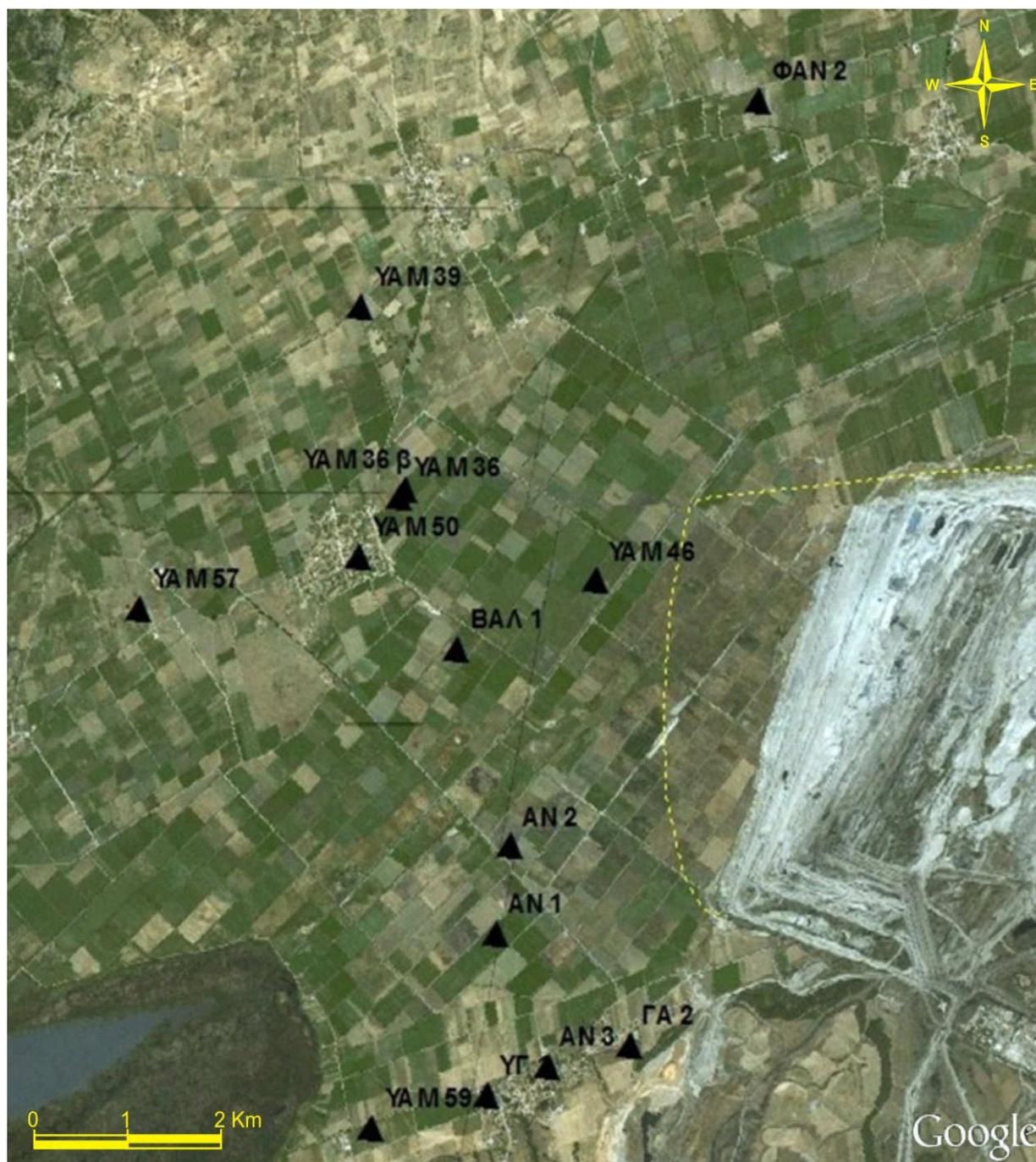
Στην λεκάνη Αναργύρων – Αμυνταίου και στην ευρύτερη περιβάλλουσα περιοχή για την εργασία αυτή, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ένα δίκτυο 20 γεωτρήσεων. Ορισμένες από αυτές διαπιστώθηκε ότι ήταν στεγνές ή φραγμένες. Για τον ακριβή εντοπισμό και στην συνέχεια για την αποτύπωσή των γεωτρήσεων σε τοπογραφικό χάρτη, 1.5000 (από ΓΥΣ), έγινε χρήση GPS. Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρατίθενται οι μετρήσεις στάθμης και οι συντεταγμένες των μετρήσιμων γεωτρήσεων.

Αφού περάστηκαν οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων και τα απόλυτα υψόμετρα στο πρόγραμμα Surfer, κατασκευάστηκαν οι πιεζομετρικές καμπύλες. Στην συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα ArcGIS, ώστε να ψηφιοποιηθούν.

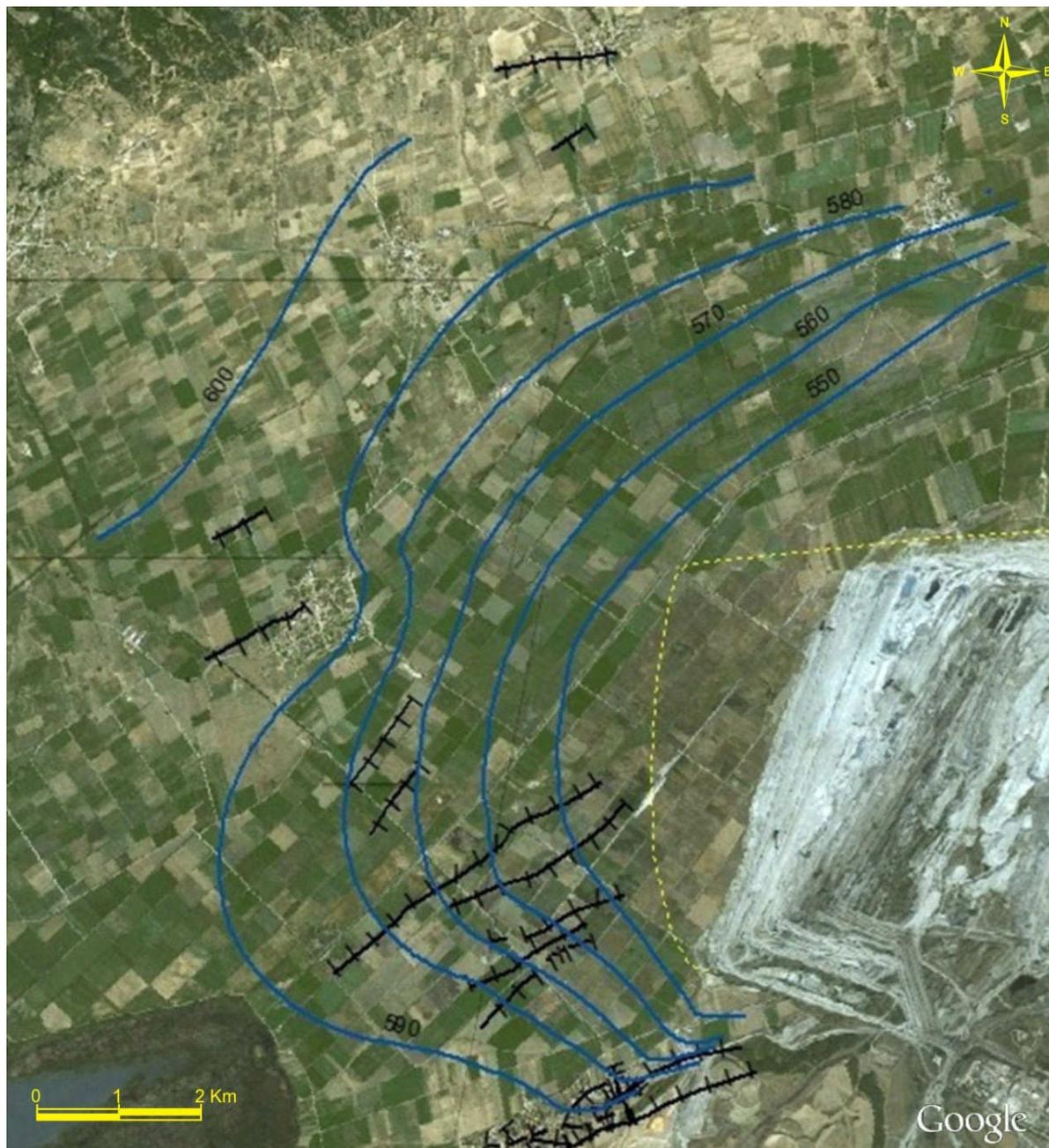
Η κατασκευή του χάρτη υδροϊσοψών έγινε με βάση τις στάθμες που μετρήθηκαν κατά τον μήνα Απρίλιο. Καθορίστηκαν, ακόμη, και τα όρια των λιμνών που βρίσκονται κοντά στην περιοχή έρευνας, όπως και η ανοιχτή εκσκαφή του ορυχείου, η οποία λειτουργεί σαν ζώνη αποστράγγισης (Εικόνα 5.2). Στην συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν οι πιεζομετρικές καμπύλες για τον μήνα Μάιο του 1992 (Δημητρακόπουλος, 2001) (Εικόνα 5.3), με σκοπό να ακολουθήσει αφαίρεση των πιεζομετρικών καμπύλων του 2011 και του 1992, ώστε να βρεθεί η πτώση στάθμης από τον Μάιο του 1992 έως τον Απρίλιο του 2011.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**Πίνακας *Μετρήσεις στάθμης και συντεταγμένες ψευτρήσεων* Απρίλιος**

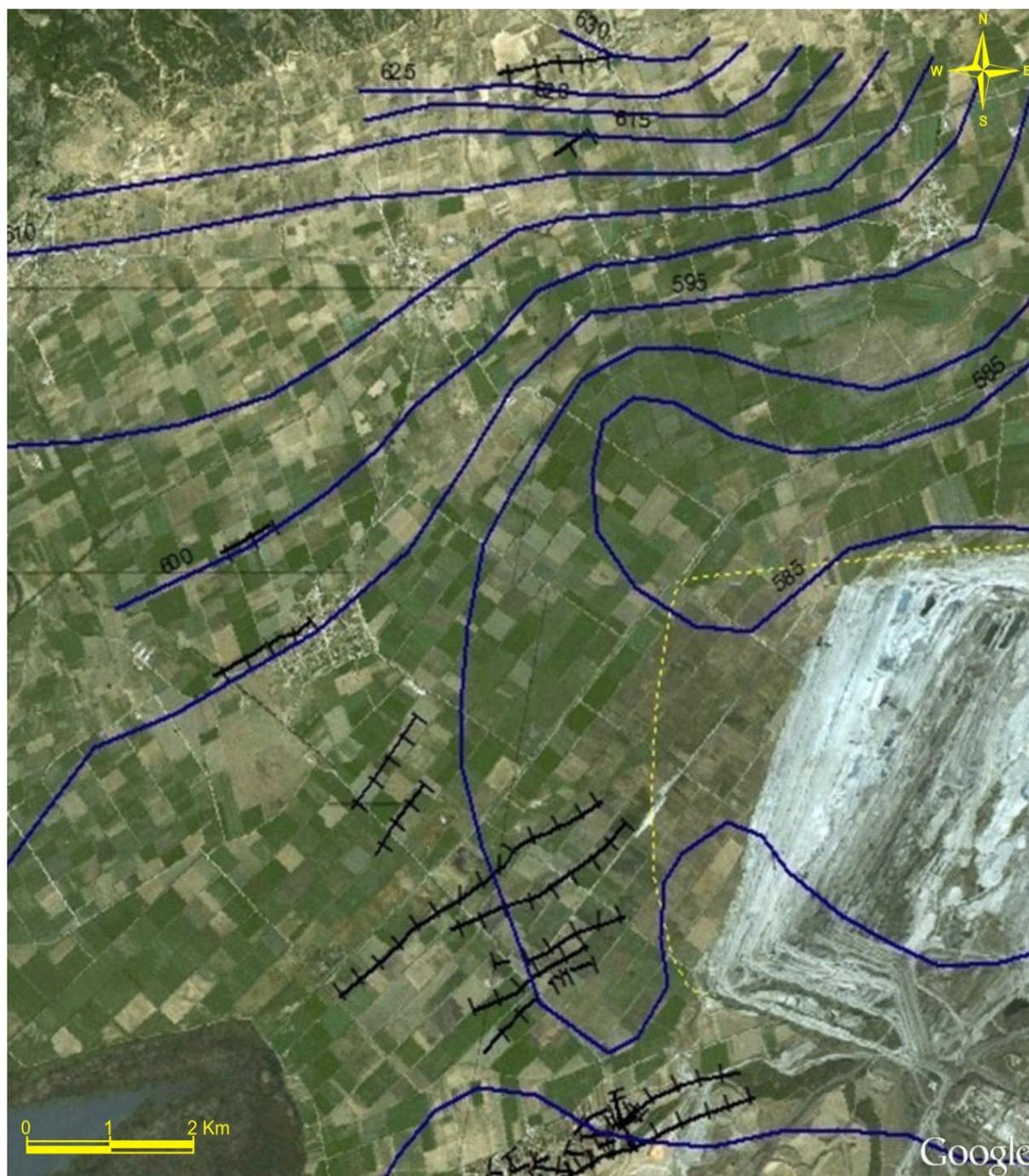
| Όνομασία | Χ | Υ | ΣΤΑΘΜΗ(m) | ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΗΣ(m) |
|-----------------|----------|----------|------------------|--|
| ΦΑΝ1 | 298950 | 4504399 | 15.7 | 590.65 |
| ΥΜ39 | 295979 | 4502707 | 3 | 596.3 |
| ΥΜ50 | 296096 | 4500913 | 2.31 | 593.69 |
| ΥΜ36 | 296376 | 4501359 | 7.17 | 588.63 |
| ΥΜ36β | 296410 | 4501415 | 14.94 | 581.31 |
| Ν1 | 297339 | 4498283 | 11.27 | 581.43 |
| Ν2 | 297404 | 4498914 | 32.65 | 561.45 |
| ΒΑΛ1 | 296899 | 4500304 | 25.81 | 567.49 |
| ΥΜ46 | 297932 | 4500865 | 43.7 | 549.05 |
| ΥΜ59 | 296474 | 4496812 | 1.75 | 598.35 |
| ΑΝ3 | 297811 | 4497355 | 8.83 | 593.17 |
| ΥΓ1 | 297349 | 4497109 | 9.6 | 595.4 |
| Γ2 | 298435 | 4497550 | 17.2 | 584.3 |
| ΥΜ57 | 294425 | 4500424 | 3.75 | 595.75 |



Εικόνα 5.1 Χάρτης με το δίκτυο γεωτρήσεων που μετρήθηκε τον μήνα Δεκέμβριο του 2010



Εικόνα Τοποιομετρικός χάρτης περιόδου Απρίλιος



Εικόνα **Ισοπιεζομετρικός** **χάρτης** **περιόδου** **Μαΐος** **Δημητρακόπουλος**
Προσαρμοσμένος **σε** **δορυφορική** **εικόνα** **για** **την** **παρούσα**
μεταπτυχιακή **Έργασία**

Σύμφωνα με Καλλέργη (2001) οι πιεζομετρικοί χάρτες περιλαμβάνουν τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες, οι οποίες απεικονίζουν τη μορφολογία της πιεζομετρικής επιφάνειας. Παρατηρώντας τις πιεζομετρικές καμπύλες (Απρίλιος 2011) που προέκυψαν προκύπτει ότι υπάρχει μια καμπυλότητα προς τα ανάντη, ενώ κοντά στο ρήγμα των Αναργύρων πάνε εφαιπτομενικά.

Επίσης από τις πιεζομετρικές καμπύλες προκύπτει ότι η ροή και του υπόγειου νερού στην ευρύτερη περιοχή και ως εκ τούτου η αποστράγγιση του υδροφόρου ορίζοντα κατευθύνεται προς το ορυχείο το οποίο φαίνεται να λειτουργεί υδραυλικά ως ένα τεράστιο φρέαρ. Σε ότι αφορά την ευρύτερη περιοχή δεν παρατηρούνται τοπικοί κώνοι πτώσης στάθμης από άλλες χρήσεις.

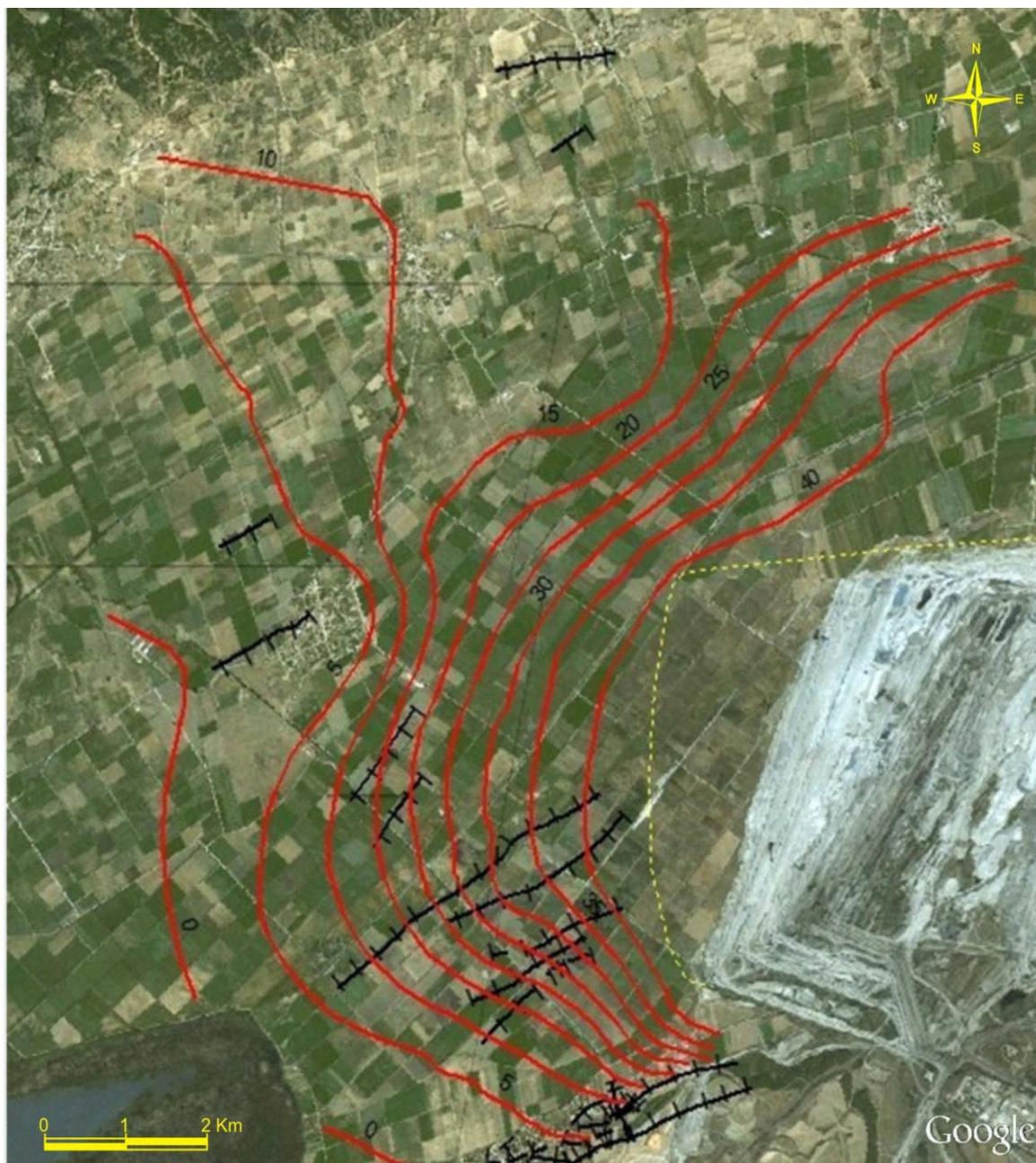
Όσον αφορά τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες του μήνα Μάιος 1992 (Δημητρακόπουλος, 2001) παρατηρείται ότι είναι κάθετες στο ανατολικό στεγανό όριο λεκάνης υποδηλώνοντας την απουσία τροφοδοσίας από την πλευρά αυτή. Γεωτρητική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο ανατολικό όριο της Χειμαδίτιδας (8 γεωτρήσεις μέσου βάθους 8m κατανεμημένες σε όλο το μήκος της όχθης διαπίστωσε ότι μέχρι τα 3,5 m υπάρχει τύρφη εύθρυπτη, διαπερατή, μέσω της οποίας λαμβάνουν χώρα από τις όχθες διαρροές προς τα ανατολικά – βορειοανατολικά. Κάτω από την τύρφη υπάρχει άργιλος αμμούχος πρακτικά αδιαπέρατη, όπως προέκυψε από δοκιμές εισπίεσης νερού (Τζέλος, Τριανταφύλλου, Κυριακίδης, 1992) που περιορίζει τον όγκο των διαρροών. Ανάλογα συμπεράσματα προέκυψαν από αντίστοιχη μελέτη που εκπονήθηκε από τον καθ. Ι Κουμαντάκη (1995). Στην περιοχή της Ζάζαρης οι ισοπιεζομετρικές καμπύλες διαμορφώνονται κάθετα προς το δυτικό όριο (Δημητρακόπουλος, 2001).

Από την σύγκριση των ισοπιεζομετρικών χαρτών των ετών 1992 και 2011 προκύπτει ότι αν και η μορφή της πιεζομετρίας δεν έχει εξαιρετικά σημαντικές διαφορές, παρόλα αυτά εμφανίζεται μια πτώση στάθμης κοντά στο ορυχείο της τάξεως των 45-50 m. Κοντά στον οικισμό των Αναργύρων η πτώση στάθμης είναι μικρότερη γύρω στα 10-20 m. Σε μεγαλύτερη απόσταση από το ορυχείο, παρατηρείται μείωση της πτώσης στάθμης, επομένως, τυχόν υποχωρήσεις του εδάφους στην επιφάνεια λόγω της μείωσης της πτώσης αυτής θα είναι σε μικρότερη κλίμακα.

Από παλιότερες συγκρίσεις ισοπιεζομετρικών χαρτών για παράδειγμα των ετών 1987 και 1992 που πραγματοποιήθηκαν κατά την διεξαγωγή διδακτορικής διατριβής (Δημητρακόπουλος, 2001) προκύπτει μια γενικότερη πτώση στάθμης της περιοχής που οφείλεται ενδεχομένως στην ανομβρία της περιόδου εκείνης και στις συνεχώς αυξανόμενες αντλήσεις για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Η πτώση στάθμης της περιόδου 86-92 στην περιοχή του ορυχείου κυμαίνεται από 3-7 m. Για

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

την πενταετία 1992-97 διαπιστώνεται ότι στις γεωτρήσεις αποστράγγισης στο χώρο του ορυχείου η πτώση στάθμης φθάνει τα 30-40 m, ενώ στις άλλες περιοχές, που δεν επηρεάζονται από την αποστράγγιση φθάνει τα 10-20 m (Δημητρακόπουλος, 2001).



Εικόνα 5.1 Ποσειζομετρικός χάρτης πτώσης στάθμης από το Μάιο μέχρι τον Απρίλιο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ

6.1 Γενικά στοιχεία

Οι εδαφικές διαρρήξεις στην περιοχή έρευνας δεν είναι ένα φαινόμενο που εμφανίστηκε σήμερα, αλλά έχει τις ρίζες του και πιο παλιά, γεγονός που μπορεί να διαπιστωθεί από βιβλιογραφικές πηγές καθώς και από την αποτύπωσή τους σε φωτογραφικό υλικό. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται πλούσιο φωτογραφικό υλικό από την επί τόπου παρατήρηση της περιοχής, δίνοντας μια καθαρή εικόνα της κατάστασης και της έκτασης του φαινομένου. Όλα αυτά που αναφέρθηκαν προγενέστερα σε θεωρητικό επίπεδο για τις εδαφικές διαρρήξεις, μπορούν να γίνουν περισσότερο κατανοητά σε αυτό το κεφάλαιο. Αστοχίες και ρωγμές μεγαλύτερης έκτασης εντοπίστηκαν στους Αναργύρους και στα Βαλτόνερα, καθώς βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το ορυχείο Αμυνταίου, και εμφανίζονται εκτεθειμένοι σε φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων που προκαλούνται από εντονότερες πτώσεις στάθμης (Σχήμα 6.1).

6.2 Ιστορικό εμφάνισης εδαφικών παραμορφώσεων

Σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές καθώς και αναφορές κατοίκων :

- ❖ Πριν το 1960 το πεδινό τμήμα μεταξύ των οικισμών Αναργύρων και Βαλτόνερων καταλαμβάνονταν από μια εκτεταμένη βαλτώδη έκταση η οποία πρακτικά αποτελούσε και ζώνη πλημμύρας της παρακείμενης λίμνης Χειμαδίτιδας.
- ❖ Τη δεκαετία του 1960 άρχισε η υλοποίηση μελετών και έργων για την αποξήρανση του βάλτου, η οποία πραγματοποιήθηκε το 1974.
- ❖ Το 1973 άρχισε η υλοποίηση των πρώτων μελετών για τον εντοπισμό λιγνιτικών κοιτασμάτων.
- ❖ Το 1989 άρχισε η εκμετάλλευση του κοιτάσματος Αμυνταίου, συνοδευόμενη από την ανόρυξη γεωτρήσεων για την προστασία των πρανών της ανοικτής εκσκαφής. Οι αντλούμενες ποσότητες νερού, από τις γεωτρήσεις προστασίας του ορυχείου καθώς και από τα αντλιοστάσια εντός του ορυχείου, πέραν από

την κάλυψη των αναγκών της ΔΕΗ, διοχετεύονταν στο τοπικό αρδευτικό δίκτυο.

- ❖ Τα τελευταία 10 χρόνια παρατηρήθηκαν οι πρώτες εδαφικές διαρρήξεις σε τρεις από τους πέντε οικισμούς της περιοχής έρευνας, στους Αναργύρους, στα Βαλτόνερα και στον Φανό.

6.3 Χωρική κατανομή εδαφικών διαρρήξεων

Κατά την διάρκεια της επίσκεψης στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε καταγραφή της χωρικής κατανομής. Αρκετές από τις διαρρήξεις αυτές είχαν καταγραφεί κατά την διάρκεια προγενέστερων μελετών από τους Λουπασάκη (2006) και Σούλιο (2011), αλλά δεν ήταν μικρός και ο αριθμός των νέων διαρρήξεων ή των διαρρήξεων που παρουσίασαν έντονες μεταβολές στο άλμα τους ή στο ανάπτυγμά τους.

Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι όλες οι εδαφικές διαρρήξεις χαρτογραφήθηκαν με τη λήψη μετρήσεων με τη χρήση GPS χειρός. Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε και φωτογραφική αποτύπωση των διαρρήξεων. Βασιζόμενοι στα δεδομένα που προκύπτουν από την χωρική κατανομή και τις μεταβολές των διαρρήξεων στο πέρασμα του χρόνου προέκυψαν συμπεράσματα για την δυναμική εξέλιξη της παραμόρφωσης της περιοχής.

Η περιοχή έρευνας, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο περιλαμβάνει πέντε οικισμούς. Εδαφικές διαρρήξεις και αστοχίες παρατηρήθηκαν μόνο σε τρεις από αυτούς, τους Αναργύρους, τον Φανό και τα Βαλτόνερα. Οι οικισμοί στους οποίους δεν παρατηρήθηκαν αστοχίες κατά την επίσκεψη, καθώς φαίνεται να μην έχουν επηρεαστεί ή να έχουν επηρεαστεί σε μικρό βαθμό από τις εδαφικές υποχωρήσεις, είναι ο Αετός και το Πεδινό.

6.3.1 Εδαφικές διαρρήξεις στους Αναργύρους

Η θέση δόμησης του οικισμού, σε σχέση με το γεωλογικό, το υδρογεωλογικό και το τεκτονικό περιβάλλον, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την πρόκληση ζημιών και την εμφάνιση εδαφικών διαρρήξεων στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού.

Ο οικισμός των Αναργύρων δομείται σε Πλειοπλειστοκαινικά και Τεταρτογενή ιζήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην στενή περιοχή του οικισμού είναι ο σχηματισμός των Αναργύρων, του Περδίκια και του Προαστίου.

Αναλυτικότερα, ο σχηματισμός των Αναργύρων εκτείνεται κάτω από το τμήμα του οικισμού που είναι δομημένο στις παρυφές της λοφοσειράς και βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Το πάχος του σχηματισμού μειώνεται σταδιακά και η πλήρης αποσφήνωσή του λαμβάνει χώρα εκτός των ορίων του οικισμού, στο πεδινό τμήμα της περιοχής έρευνας.

Ο σχηματισμός του Περδίκια, δεν εκτείνεται κάτω από ολόκληρο τον οικισμό των Αναργύρων, τα μεγαλύτερα πάχη του εντοπίζονται στο πεδινό τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ τα μικρότερα κοντά στον εν λόγω οικισμό. Όσον αφορά τον σχηματισμό του Προαστίου τα βάθη στα οποία εμφανίζεται ο συγκεκριμένος σχηματισμός μεταβάλλονται αυξανόμενα προς τα ΒΔ του οικισμού, κάτω από το πεδινό τμήμα της περιοχής έρευνας

Ο οικισμός των Αναργύρων είναι χτισμένος πάνω στο ρήγμα των Αναργύρων, το οποίο συνεχίζει και εντός του ορυχείου του Αμυνταίου. Το ρήγμα των Αναργύρων αποτελεί προς τα νοτιοανατολικά το όριο εξάπλωσης του σχηματισμού Περδίκια, λόγω της μετάπτωσης του ανάντη (Βορειοδυτικού) τεμαχίου του ρήγματος και της μετέπειτα διάβρωσης του κατόντη τεμαχίου του ρήγματος.

Εντός των Τεταρτογενών αποθέσεων αναπτύσσεται ο προσχωματικός υδροφόρος ορίζοντας του Αμύνταιου. Ο υδροφόρος αυτός ορίζοντας έχει υποστεί σημαντική εκμετάλλευση. Στην ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου συμβάλλουν όλες οι δραστηριότητες (αγροτικές και εξορυκτικές) που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή έρευνας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την προστασία των πρανών του ορυχείου του Αμύνταιου γίνονται περιμετρικά απολήψεις νερού από γεωτρήσεις. Οι απολήψεις του υπόγειου νερού στο σύνολό τους, έχουν προκαλέσει σημαντική πτώση στάθμης. Η πτώση στάθμης του Υ.Ο. αυξάνει σημαντικά προς την περίμετρο του ορυχείου Αμύνταιου φτάνοντας και τα 45 μέτρα δημιουργώντας ένα κώνο πτώσης στάθμης με υδραυλική κλίση προς το ορυχείο, ενώ εκτείνεται δυτικά έως και τον οικισμό των Αναργύρων, στον οποίο φτάνει έως και τα 15 μέτρα.

Στο πεδινό τμήμα της περιοχής έρευνας, η υποβίβαση της στάθμης προκάλεσε την επαναδραστηριοποίηση του μηχανισμού στερεοποίησης των σχηματισμών, με αποτέλεσμα την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων. Από τους σχηματισμούς που δομούν τον οικισμό, αυτός που λόγω της δομής του και των μηχανικών χαρακτηριστικών του επιτρέπει την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων στα τμήματα που παρατηρείται αντίστοιχη υποβίβαση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων είναι ο σχηματισμός του Περδίκια. Οι μεταβολές στο πάχος του Περδίκια είναι υπαίτιες για τις διαφορικές παραμορφώσεις και κατά συνέπεια για διαρρήξεις που εκδηλώνονται στην επιφάνεια. Ο σχηματισμός του Προαστίου δεν δύναται να συμμετάσχει σε μηχανισμό εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων λόγω ταπείνωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ

της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων, λόγω του μεγάλου βάθους στο οποίο εντοπίζεται. Λόγω του μικρού πάχους εμφάνισης του σχηματισμού των Αναργύρων αλλά και λόγω της μηχανικής συμπεριφορά του, οι ζημιές που παρατηρούνται στις οικίες του οικισμού δεν μπορούν να αποδοθούν σε αυτόν.

Οι διαφορικές εδαφικές υποχωρήσεις λόγω πτώσης στάθμης υδροφόρου ορίζοντα εκδηλώθηκαν στην επιφάνεια με τη μορφή εδαφικών διαρρήξεων. Στα σημεία με την μεγαλύτερη πτώση στάθμης παρουσιάζονται και μεγαλύτερες μετακινήσεις. Για την φωτογραφική αποτύπωση των διαρρήξεων αυτών επιλέχθηκαν κάποιες θέσεις όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.2.

Τον οικισμό των Αναργύρων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.1, πλήττουν εδαφικές διαρρήξεις σε όλη την έκταση του, οι περισσότερες από τις οποίες έχουν διεύθυνση παράλληλη με το ρήγμα των Αναργύρων, ενώ παρατηρούνται και διαφορετικοί ρυθμοί παραμόρφωσης στα επιμέρους τμήματα του οικισμού.

Ανάντη του ρήγματος των Αναργύρων όπου απουσιάζει ο σχηματισμός του Περδίκια, δεν έχουν εκδηλωθεί εδαφικές υποχωρήσεις, επομένως δεν παρατηρούνται ζημιές σε οικίες. Παρατηρείται επομένως μια υποβάθμιση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων από τα βόρεια προς τα νότια του οικισμού. Ανάλογη υποβάθμιση της σφοδρότητας του φαινομένου παρατηρήθηκε και προς τα δυτικά του οικισμού. Στην περιοχή του νεκροταφείου (δυτικά του οικισμού) δεν σημειώνεται πτώση στάθμης του υδροφόρου, όπως φαίνεται και από τον ιστοπιεζομετρικό χάρτη πτώσης στάθμης Υ.Ο. από το Μάιο 1992 μέχρι τον Απρίλιο 2011 (Εικόνα 5.4).



Εικόνα 6.2 Δορυφορική Εικόνα του οικισμού Αναργύρων πάνω στην οποία επισημάνθηκαν εδαφικές διαρρήξεις από Google Earth



Εικόνα 6.8 Δορυφορική Εικόνα των Αναγύρων στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση από Google Earth

□

Οι αστοχίες, όπως καταγράφηκαν κατά την επιτόπου παρατήρηση, πλήττουν οικίες, περιφράξεις και λοιπά κτίρια εντός του οικισμού.

Σε ορισμένες οικίες αλλά και περιφράξεις παρόλο που έχει γίνει σχετική επιδιόρθωση των αστοχιών αυτών, σε κάποια σημεία τους είναι ακόμα ορατές οι ρωγμές. Αξίζει να αναφερθεί ότι μεταβολές παρουσιάστηκαν στο ανάπτυγμα των ρωγμών που είχαν παρατηρηθεί σε προηγούμενα χρόνια (Φωτογραφίες 6.8, 6.9).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Φωτογραφία Αστοχία έχει καταστρέφει οικία στους Αναργύρους Θέση αστοχίας



Φωτογραφία Συνέχεια της αστοχίας στη θέση η οποία πλήττει μάντρα που είχε γκρεμιστεί και ξαναχτίστηκε στον δικισμό των Αναργύρων Θέση αστοχίας



Φωτογραφία [] [] [] [] [] Παραμορφώσεις [] σε [] δίκτυο [] στους [] Αναργύρους [] []



Φωτογραφία [] [] [] [] [] Αστοχία [] σε [] δικιά [] που [] είναι [] χτισμένη [] πάνω [] στο [] ρήγμα [] των [] Αναργύρων [] [] Παρά [] την [] σχετική [] επιδιόρθωση [] που [] έχει [] υποστεί [] ο [] τοίχος [] της [] δικιάς [] η [] αστοχία [] επανεκδηλώθηκε [] Αντίστοιχες [] διαρρήξεις [] παρατηρούνται [] σε [] όλα [] τα [] σπίτια [] που [] βρίσκονται [] στην [] ίδια [] ευθεία [] [] θέση [] αστοχίας [] [] [] [] []

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Φωτογραφία [] [] [] [] [] Διαγώνιες ρωγμές σε τοιχοποιία οικίας κοντά στον κεντρικό δρόμο των Αναργύρων [] [] Θέση αστοχίας [] [] [] []



Φωτογραφία [] [] [] [] [] Ρωγμές στην εξωτερική τοιχοποιία οικίας κοντά στο ρήγμα των Αναργύρων [] [] Θέση αστοχίας [] [] [] []

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Φωτογραφία [] [] [] [] [] [] Εφελκυστική [] ρωγή [] σε [] εξωτερική [] τοιχοποιία [] οικίας [] τον [] μήνα [] Μάρτιο [] του [] [] [] [] [] [] [] []



Φωτογραφία [] [] [] [] [] [] Εφελκυστικές [] ρωγμές [] σε [] εξωτερική [] τοιχοποιία [] οικίας [] που [] βρίσκεται [] τον [] Απρίλιο [] του [] [] [] [] [] [] [] [] Θέση [] στοχίας [] [] [] [] [] [] []

Στην περιοχή των Αναργύρων παρατηρήθηκε ακόμη ανύψωση των σωλήνων των γεωτρήσεων λόγω των εδαφικών υποχωρήσεων (Εικόνες 6.10, 6.11), και πιο συγκεκριμένα λόγω της διαφορικής παραμόρφωσης με το βάθος.



Φωτογραφία Βάθρο γεώτρησης που έχει ανυψωθεί στον δικισμό των Αναργύρων



Φωτογραφία Σωλήνας γεώτρησης που έχει ανυψωθεί λόγω διαφορετικής παραμόρφωσης με το βάθος

Εδαφικές διαρρήξεις παρατηρήθηκαν και στα αγροκτήματα, εκτός του οικισμού των Αναργύρων (Εικόνα 6.3), ενώ οι θέσεις που επιλέχθηκαν για την φωτογραφική αποτύπωση φαίνονται στην Εικόνα 6.4. Περιμετρικά του ορυχείου εντοπίζονται αστοχίες κάθετες στις τεκτονικές γραμμές (Εικόνα 6.5), οι οποίες ίσως οφείλονται στην διαταραχή του πρανούς λόγω εκσκαφής και δεν είναι αποτέλεσμα εδαφικών υποχωρήσεων.



Εικόνα [] [] [] [] [] [] Δορυφορική [] Εικόνα [] του [] Δικισμού [] Αναργύρων [] σε [] σχέση [] με [] το [] Θρυχείο [] πάνω [] στην [] οποία [] επισημάνθηκαν [] εδαφικές [] διαρρήξεις [] από [] Google [] Earth [] [] []



Εικόνα [] [] [] [] [] [] Δορυφορική [] Εικόνα [] πλησίον [] του [] Θρυχείου [] στην [] οποία [] επισημαίνονται [] οι [] επιλεγμένες [] θέσεις [] στοχίων [] για [] τις [] οποίες [] υπάρχει [] φωτογραφική [] τεκμηρίωση [] από [] Google [] Earth [] [] []

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Εικόνα [] [] [] [] [] [] Δορυφορική εικόνα που απεικονίζει τις αστοχίες πλησίον του άρυχείου Αμυνταίου και είναι κάθετες στις τεκτονικές γραμμές από Google Earth [] [] [] [] [] []



Φωτογραφία [] [] [] [] [] [] Αστοχία και το αντίστοιχο άλμα που εμφανίζεται κατά μήκος του δρόμου δίπλα από το άρυχείο Αμυνταίου [] [] [] [] [] []

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ

μερικά χρόνια έχει πλέον κατεδαφιστεί (Φωτογραφίες 6.17, 6.18) κάνοντας εμφανή την σφοδρότητα του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων.



Εικόνα 6.17 Δορυφορική εικόνα του οικισμού των Βαλτόνερων πάνω στην οποία επισημάνθηκαν εδαφικές διαρρήξεις από Google Earth

□



Εικόνα 6.18 Δορυφορική εικόνα των Βαλτόνερων στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις άστοχίων για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση από Google Earth

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Φωτογραφία Εντονες αστοχίες σε σκεπή και τοίχο αποθήκης στα Βαλτόνερα
 θέση αστοχίας



Φωτογραφία Ρωγμές σε τοιχοποιία νεόκτιστης οικίας στα Βαλτόνερα
 θέση αστοχίας



Η φωτογραφία αποχίες που εμφανίζονται στην τοιχοποιία στάβλου παρά την επιδιόρθωση που έχουν υποστεί στο χωριό Βαλτόνερα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ

συνεχιά τους είναι ορατή εντός των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Οι εδαφικές διαρρήξεις έχουν παράταξη παράλληλη με αυτή των τεκτονικών γραμμών. Από την επιτόπου παρατήρηση άλμα καταγράφηκε σε τμήμα του δρόμου που συνδέει τους Αναργύρους με τα Βαλτόνερα, ενώ ακόμη οι διαρρήξεις αυτές έχουν προκαλέσει και απώλεια κατακορυφότητας των στύλων της ΔΕΗ.



Εικόνα 6.1.1 Δορυφορική εικόνα του δρόμου που ενώνει τους Αναργύρους με τα Βαλτόνερα στην οποία επισημαίνονται οι επιλεγμένες θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση από Google Earth



6.1.1 Φωτογραφία αστοχίας που έχει προκαλέσει απώλεια κατακορυφότητας στις βολώνες θέση αστοχίας



□□□□Φωτογραφία □□□□□□□□□□Δοτοχία κατά μήκος του δρόμου □□Θέση □δοτοχίας □□□□□



*□□□□Φωτογραφία □□□□□□□□□□Διάρρηξη με έδαμα □□που εμφανίζεται κατά μήκος του δρόμου □□
□□□□□□□□□□Θέση □δοτοχίας □□□□□*

6.3.3 Εδαφικές διαρρήξεις στο Φανό

Σύμφωνα με Τσούρλο (2007) στο χωριό Φανός παρατηρείται μια ευθύγραμμη αναβαθμίδα, σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση με σχηματισμό απότομων πρηνών ύψους μερικών

μέτρων και στα ανώτερα τμήματα των οποίων αποκαλύπτονται Νεογενή ιζήματα, τα οποία κατά θέσεις και στα ανώτερα μορφολογικά τμήματα των υπωρειών καλύπτονται από λεπτού πάχους ερυθρόχρωμα Τεταρτογενή αργιλοαμμούχα ιζήματα, τα οποία σχηματίζουν στα εγκάρσια των υπωρειών ρέματα μια χαρακτηριστική αναβαθμίδα. Αντίθετα, στη βάση αυτού του διαμορφωμένου απότομου πρανούς και ανατολικότερα αναπτύσσονται είτε τα πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων και ριπιδοειδείς κώνοι αλλουβίων είτε οι σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις. Λόγω της ύπαρξης και της επαφής του υποβάθρου με τους Πλειοπλειστοκαινικούς σχηματισμούς, ακόμα και μικρές μετακινήσεις να συμβούν, θα γίνουν αντιληπτές στην επιφάνεια του εδάφους.

Η κύρια τροφοδοσία της λεκάνης στην οποία συναντάται ο οικισμός προέρχεται από τους ορεινούς όγκους που βρίσκονται βόρεια/βορειοδυτικά της περιοχής. Με μικρότερη υδραυλική κλίση η λεκάνη τροφοδοτείται από νότιο/νοτιοανατολικά και από νοτιοδυτικά, ενώ στο σύνολο τους τα υπόγεια νερά κατευθύνονται προς βορειοανατολικά προς την λίμνη Βεγορίτιδα.

Όσον αφορά την υπόγεια υδροφορία συμπεραίνεται ότι οι κύριοι υδροφόροι σχηματισμοί οι οποίοι υφίστανται εκμετάλλευση αντιστοιχούν στους αμμώδεις σχηματισμούς που συναντώνται στην λεκάνη. Παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό διαχρονικά πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού, σε συνδυασμό με μεταβολή των διευθύνσεων της υπόγειας ροής προς το κέντρο της λεκάνης Χειμαδίτιδας - Πετρών και συγκεκριμένα προς το ορυχείο Αμυνταίου.

Η περιοχή του Φανού αποτελώντας τμήμα των δυτικών παρυφών της λεκάνης, βρίσκεται στην άμεση επίδραση της μεγάλης περιθωριακής ρηξιγενούς γραμμής Αετού - Ξυνού Νερού - Πετρών, η οποία με κλίση προς τα ΑΝΑ οριοθετεί, στα δυτικά, τη λεκάνη Αμυνταίου - Πτολεμαΐδας.

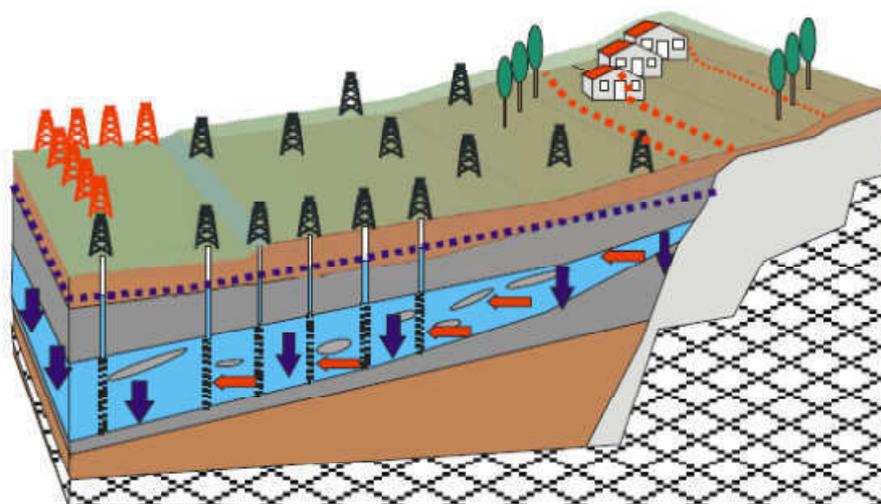
Νότια του Φανού διαμορφώνεται ένα ευθύγραμμο πρανές ρήγματος ύψους έως 5m περίπου και με κλίση προς τα Ανατολικά. Το ρηξιγενές αυτό πρανές διέρχεται μέσα από την πλατεία του χωριού και συνεχίζει δυτικά και παράλληλα προς το δρόμο Φανός - Ξυνό Νερό διαμορφώνοντας και στο τμήμα αυτό πρανές ρήγματος ύψους, το οποίο διαχωρίζει τις Νεογενείς αποθέσεις του υποκείμενου τέμαχους (χαμηλό λοφώδες τμήμα) από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις του υπερκείμενου τέμαχους (πεδινό τμήμα).

Οι επιφανειακές διαρρήξεις που εκδηλώνονται κατά μήκος του ρήγματος αυτού έχουν μήκος μερικά μέτρα και άνοιγμα μερικά εκατοστά και διευθύνονται παράλληλα προς το ρήγμα. Εμφανίζουν δηλαδή γεωμετρικά στοιχεία παρόμοια με το ρήγμα του Φανού. Ακόμη παρατηρείται ότι η ζώνη στην οποία σημειώνονται οι εδαφικές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ

διαρρήξεις συμπίπτει με την περιοχή κατά την οποία παρατηρείται μεγάλη κλίση της πτώσης στάθμης (Τσούρλος, 2007).

Χαρακτηριστικά στην περιοχή του Φανού εκδηλώθηκαν επιφανειακές ρωγμές (Σχήμα 6.1) (ανοιχτή ρωγμή > 100m) με παράταξη ~60° και μικρή πτώση τεμάχους (max 3cm) ΝΑ. Αρχικά εκδηλώθηκε το φαινόμενο το 1993, με επιδείνωση τον Αύγουστο του 2000. Έκτοτε υπάρχει περιοδική εμφάνιση (ενεργοποίηση) ρωγμών κυρίως στο τέλος καλοκαιριού – αρχές φθινοπώρου (ελάχιστες στάθμες) (Τσούρλος, 2007).



Σχήμα 6.1 Εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών στα περιθώρια λεκάνης λόγω της διαφορικής υποχώρησης που προκαλείται από υπεράντληση
Τσούρλος

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.9 μια συνεχής διάρρηξη τέμνει τον Φανό, ενώ μια δεύτερη τέμνει αγροτικές εκτάσεις κοντά στον δρόμο Έδεσσας- Καστορίας.

Συγκεκριμένα η διάρρηξη στην επαρχιακή οδό νότια του χωριού κόβει το οδόστρωμα και προκαλεί απώλεια της κατακορυφότητας στύλων της ΔΕΗ. Εντός του οικισμού η ασυνέχεια που υπάρχει περνάει μέσα από την πλατεία του χωριού και κόβει το οδόστρωμα, ενώ παράλληλα παρατηρείται και η εμφάνιση εφελκυστικών ρωγμών σε οικίες.

Οι θέσεις αστοχιών για τις οποίες υπάρχει φωτογραφική τεκμηρίωση παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.10.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Εικόνα [] [] [] [] [] [] Δορυφορική Εικόνα [] του [] Φανού [] στην [] οποία [] επισημάνθηκαν [] εδαφικές διαρρήξεις [] από [] Google Earth [] []



[] [] [] [] [] [] Δορυφορική Εικόνα [] του [] Φανού [] στην [] οποία [] επισημαίνονται [] δι [] επιλεγμένες [] θέσεις [] ασοχιών [] για [] τις [] οποίες [] υπάρχει [] φωτογραφική [] τεκμηρίωση [] από [] Google Earth [] []

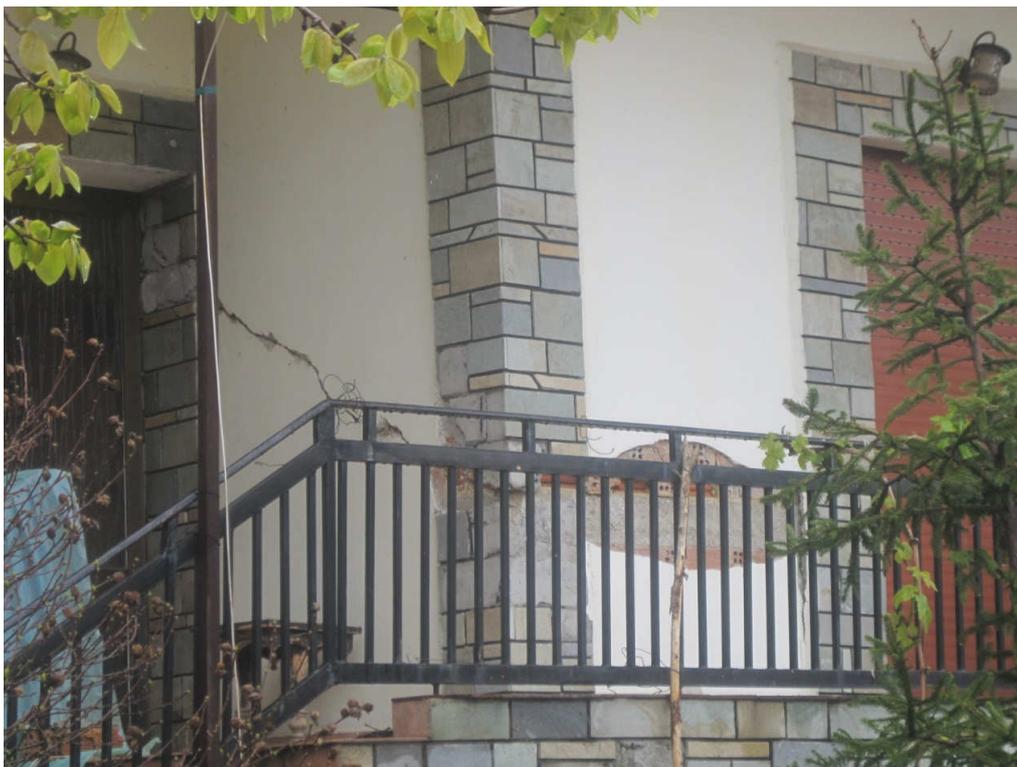
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ



Φωτογραφία Εφελκυστικές αστοχίες σε κτίριο συνέχεια της συνέχειας στα βόρεια του χωριού θέση αστοχίας



Φωτογραφία λεπτομέρεια της φώτο άποψη της ρωγμής το εύρος της οποίας έχει φτάσει στα εκατοστά θέση αστοχίας



Φωτογραφία Ασυνέχεια τέμνει το χωριό και έχει προκαλέσει βαριές και ελαφριές ζημιές σε ιδιότητες και περιφράξεις θέση αστοχίας



Φωτογραφία Ρωγμές σε κτίριο μέσα στο χωριό Φανός θέση αστοχίας



Σχήμα 6.2: Ρωγμές λόγω εδαφικής υποχώρησης σε σπίτια του οικισμού Αετού, (Σούλιος κ.ά.,2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

7.1 Γενικά στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται συνοπτικά ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων (PLAXIS V8) που χρησιμοποιήθηκε στις αναλύσεις. Γίνεται αναφορά στις απαιτούμενες από το πρόγραμμα παραμέτρους για να πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις και δίνονται αναλυτικά τα στάδια που ακολουθούνται, όπως είναι η εισαγωγή των δεδομένων “Input Program”, οι αρχικές συνθήκες (“Initial conditions”), οι υπολογισμοί “Calculations Program” και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων “Output Program”. Παρουσιάζονται τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της περιοχής. Τέλος, γίνεται μια περιγραφή των μοντέλων προσομοίωσης που επιλύθηκαν στην περιοχή παραθέτοντας και τα αποτελέσματα που πρόέκυψαν από τις αναλύσεις αυτές.

7.2 Περιγραφή Του Προγράμματος Plaxis V8 Professional

Το Plaxis είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων, πραγματοποιώντας διδιάστατες αναλύσεις παραμορφώσεων και τάσεων συνεχούς μέσου. Στο πλαίσιο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η έκδοση V8 Professional.

Η χρήση του σε γεωτεχνικά προβλήματα απαιτεί αναπτυγμένα καταστατικά μοντέλα για την προσομοίωση της γραμμικής ή μη, της εξαρτημένης από το χρόνο ή της ανισότροπης συμπεριφοράς του εδάφους ή του βράχου. Επιπλέον, επειδή το έδαφος είναι ένα πολυφασικό υλικό απαιτούνται ειδικές διαδικασίες προκειμένου να υπολογιστούν οι υδροστατικές ή μη υδροστατικές πιέσεις των πόρων του εδάφους.

Τα γεωτεχνικά προβλήματα που προσομοιώνονται με το πρόγραμμα Plaxis είναι προβλήματα επιβολής φορτίσεων με τη χρήση επιχωμάτων, αστοχίες θεμελιώσεων, ευστάθεια πρανών, διάνοιξη σηράγγων, επιφανειακές εκσκαφές με ή χωρίς αντιστήριξη.

Επιπλέον, το πρόγραμμα αποτελείται από τέσσερα υποπρογράμματα που αφορούν στην :

1. εισαγωγή δεδομένων (Input), 
2. εκτέλεση υπολογισμών (Calculations), 
3. παρουσίαση αποτελεσμάτων (Output), 
4. παραγωγή διαγραμμάτων (Curves). 

Το πρόγραμμα Plaxis είναι εμπλουτισμένο με πολλά εργαλεία ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλο αριθμό από πολύπλοκες γεωτεχνικές κατασκευές. Για την προσομοίωση ενός γεωτεχνικού προβλήματος τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι οι γραμμές, τα σημεία και τα τμήματα (clusters) συγκεκριμένης εδαφικής στρώσης. Το κάθε τμήμα έχει τις ίδιες ιδιότητες σε όλη την έκτασή του. Η βασική διαφορά ανάμεσα στα παραπάνω γεωμετρικά στοιχεία είναι ότι οι γραμμές και τα σημεία επιλέγονται από τον χρήστη, ενώ τα τμήματα από το ίδιο το πρόγραμμα (Αγγελίτσα, 2009).

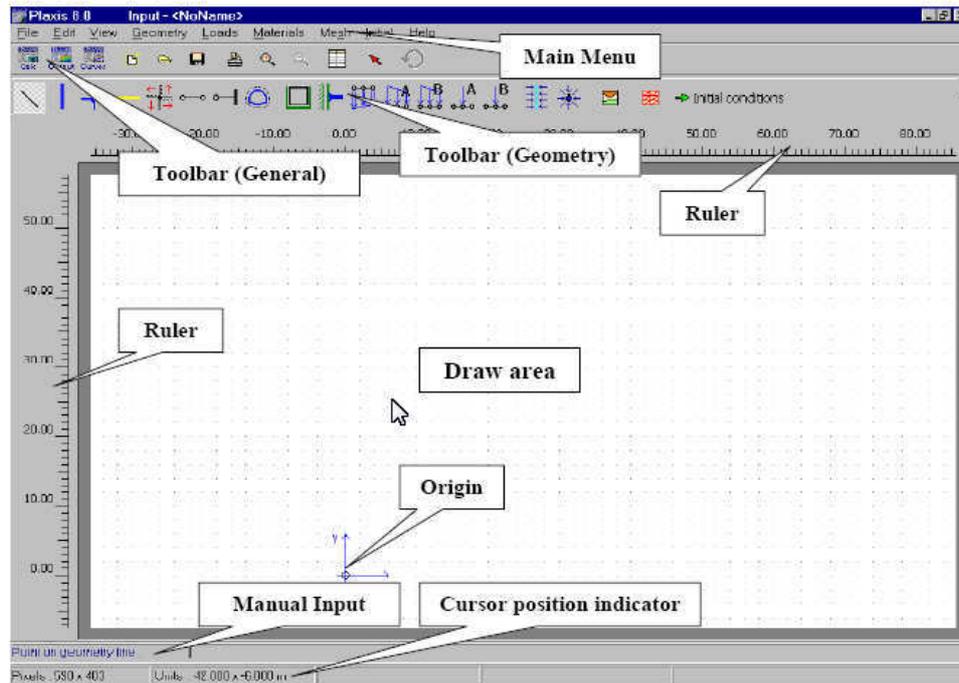
7.2.1 Εισαγωγή δεδομένων (Input)

Γεωμετρική προσομοίωση

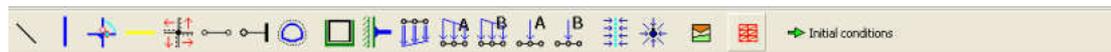
Το υποπρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων (Εικόνα 7.1) περιέχει διάφορα εργαλεία και εντολές παρέχοντας την δυνατότητα δημιουργίας του επιθυμητού μοντέλου προσομοίωσης. Μέσω της γραμμής εντολών (toolbar) που βρίσκεται στην άνω πλευρά (Εικόνα 7.2) του παραθύρου γίνεται η εισαγωγή των επιμέρους αντικειμένων της γεωμετρίας.

Αρχικά, η δημιουργία ενός προβλήματος γίνεται μέσω της εντολής 'Γενικές ρυθμίσεις' (General Settings).

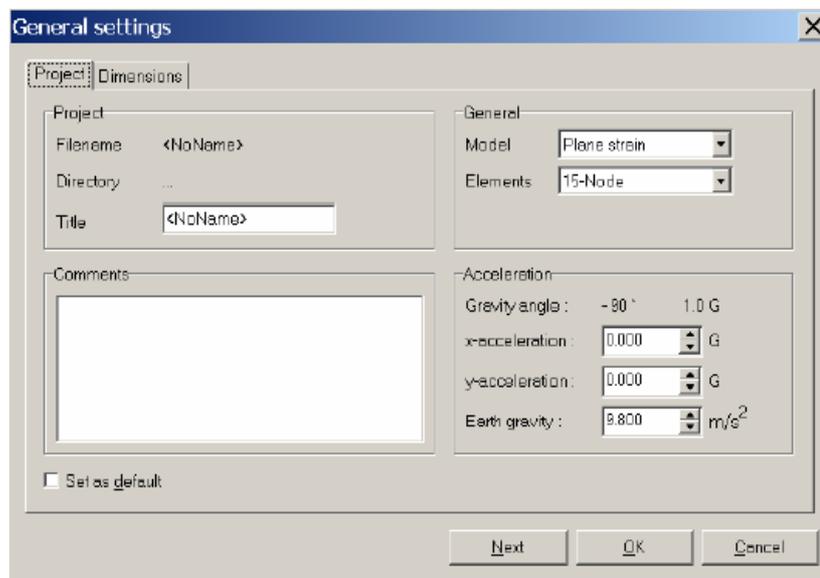
Το συγκεκριμένο παράθυρο εντολών αποτελείται από δυο "φύλλα" ρυθμίσεων (Εικόνα 7.3). Με το πρώτο, που αφορά στη δημιουργία του σχεδίου (Project) γίνεται η εισαγωγή του τίτλου του σχεδίου, του βασικού τύπου προσομοιώματος (μοντέλο επίπεδης παραμόρφωσης ή αξισυμμετρικό), του τύπου των πεπερασμένων στοιχείων, ενώ με το δεύτερο, που αφορά στην επιλογή των διαστάσεων (Dimensions) γίνεται η επιλογή των μονάδων μέτρησης και των διαστάσεων της τομής.



Εικόνα 7.1 Παράθυρο εργασίας του προγράμματος Plaxis



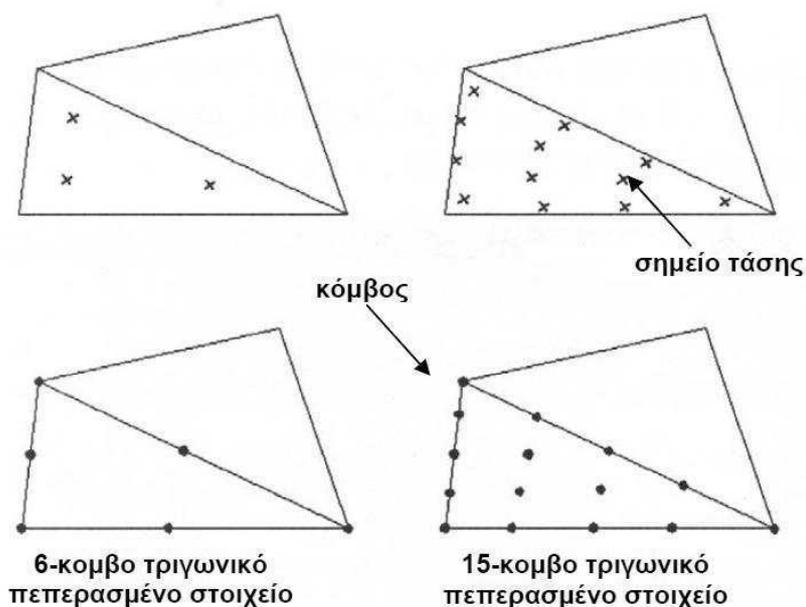
Εικόνα 7.2 Γραμμή εργαλείων και εντολών του προγράμματος εισαγωγής δεδομένων



Εικόνα 7.3 Παράθυρο γενικών ρυθμίσεων του προγράμματος Plaxis

Το πρόγραμμα Plaxis V8 δίνει την δυνατότητα χρήσης τριγωνικών στοιχείων με 6 ή 15 κόμβους. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επιλέχθηκαν τα 15-κομβά

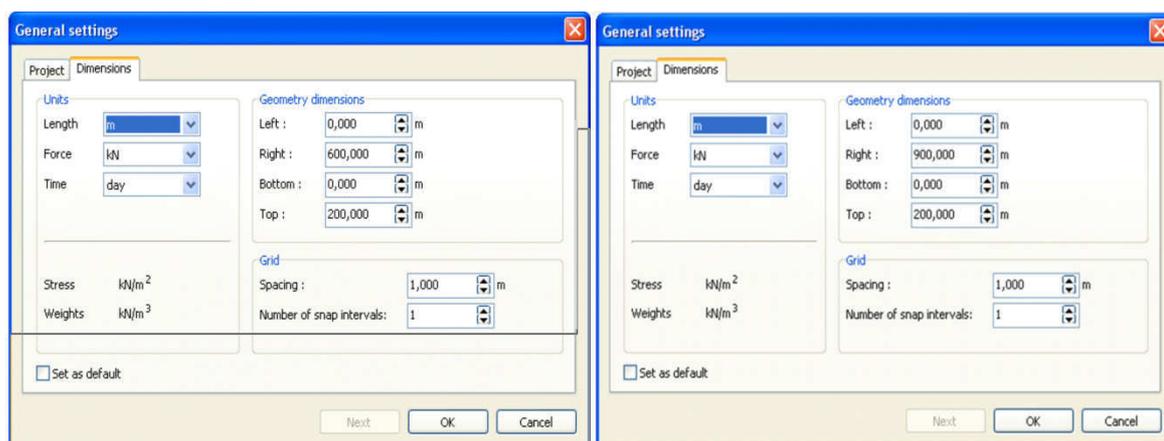
τριγωνικά στοιχεία, γιατί με την χρήση αυτών των στοιχείων έχουμε καλύτερη προσέγγιση της in situ γεωμάζας. Το 15-κομβο στοιχείο αποτελείται από 15 κόμβους, από τους οποίους οι 12 βρίσκονται περιμετρικά του τριγώνου και οι υπόλοιποι 3 εσωτερικά αυτού (Σχήμα 7.1). Οι τάσεις υπολογίζονται εσωτερικά του τριγωνικού στοιχείου σε 12 σημεία τα οποία δε συμπίπτουν με τους κόμβους.



Σχήμα 7.1 Σημεία υπολογισμού των τάσεων και κόμβοι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων

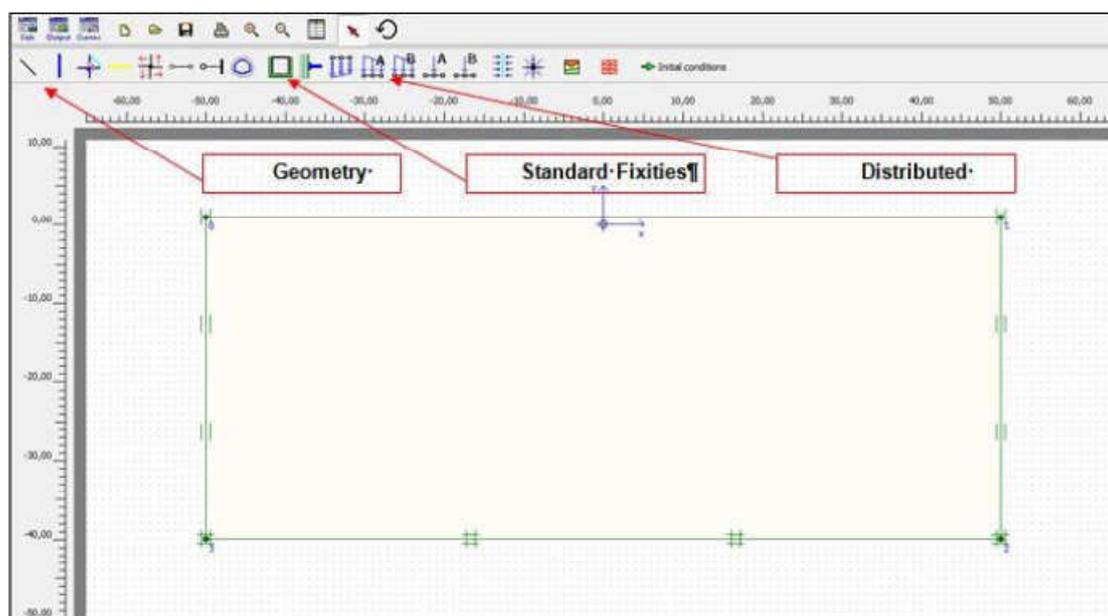
Κατά τη δημιουργία της γεωμετρίας ενός προσομοιώματος, απαιτείται να καθοριστούν τα όρια διαχωρισμού των εδαφικών στρώσεων, το οποίο γίνεται με την εντολή (geometry line), τα στοιχεία της κατασκευής, καθώς και τα φορτία εάν υπάρχουν. Το γεωμετρικό μοντέλο δε θα πρέπει να αποτελείται μόνο από τις κατασκευές που πραγματοποιούνται στο πρώτο στάδιο, αλλά και αυτές που συμβαίνουν σε κάθε κατασκευαστική φάση του προβλήματος.

Ειδικά για το θέμα αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, αρχικά καθορίστηκαν τα όρια των τομών (Εικόνα 7.4) που χρησιμοποιήθηκαν με συντεταγμένες x και y, λόγω της διδιάστατης ανάλυσης.



Εικόνα 7.4: Παραδείγματα γενικών ρυθμίσεων για την προσομοίωση των μοντέλων.

Στη συνέχεια η τομή χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα (clusters), τα οποία αναπαριστούν τις διάφορες εδαφικές στρώσεις, με την εντολή γραμμές (geometry lines) πατώντας στο αντίστοιχο εικονίδιο της γραμμής εργαλείων.



Εικόνα 7.5: Προσδιορισμός γεωμετρικού μοντέλου και εισαγωγής συνοριακών συνθηκών

7.2.2.1 Προσομοίωση εδαφικού μέσου

Για την περιγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους το πρόγραμμα PLAXIS παρέχει τους εξής καταστατικούς νόμους:

?

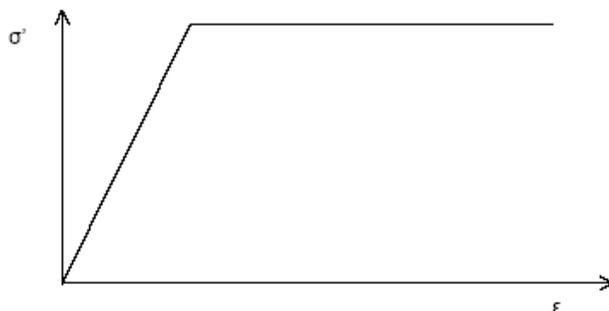
- **Linear Elastic:**
- **Mohr – Coulomb**

- **Soft soil model**
- **Hardening soil model**
- **Soft soil creep model**

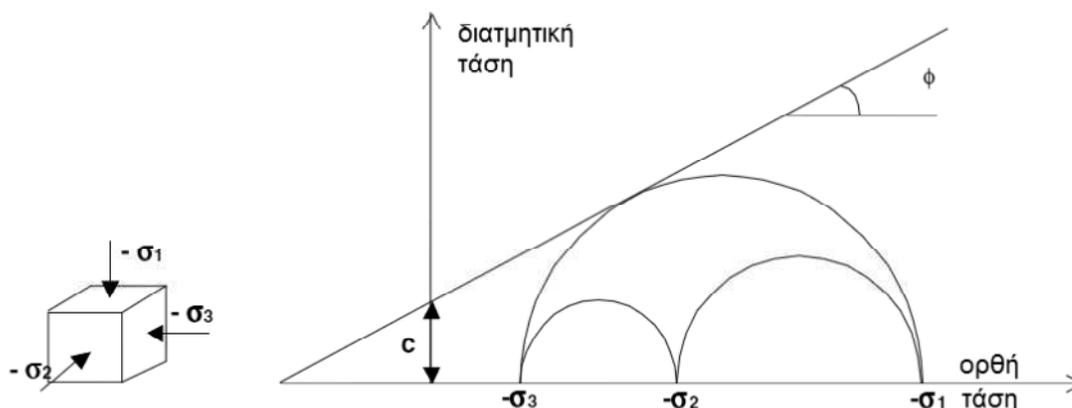
Μοντέλο Mohr-Coulomb

Η προσομοίωση ενός εδαφικού μέσου μπορεί να γίνει με τη χρήση διάφορων καταστατικών μοντέλων, από τα οποία το πιο γνωστό είναι αυτό του ελαστικού – τέλεια πλαστικού εδάφους κατά Mohr-Coulomb (Σχήμα 7.2), το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στη συγκεκριμένη εργασία για να περιγράψει τη συμπεριφορά των σχηματισμών που βρίσκονται στην περιοχή έρευνας . Αυτό το μοντέλο θεωρείται από τα πιο εύκολα στη χρήση, καθώς για την εφαρμογή του απαιτούνται μόνο πέντε βασικές μηχανικές παράμετροι, οι οποίες προκύπτουν από τις εργαστηριακές δοκιμές και είναι το μέτρο ελαστικότητας E (Young's modulus), ο λόγος Poisson ν (Poisson's ratio), η συνοχή c (cohesion), η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ (friction angle) και η γωνία διασταλτικότητας ψ (dilatancy angle). Οι δύο πρώτες παράμετροι αποτελούν ελαστικές σταθερές, ενώ η συνοχή c και η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ αποτελούν παράμετροι διατμητικής αντοχής κατά Mohr-Coulomb. Όσον αφορά τη γωνία διασταλτικότητας ψ , είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την τάση του εδαφικού υλικού προς διόγκωση και μετρείται σε μοίρες.

Το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του παρακάτω σχήματος χωρίζεται σε δύο τμήματα, το πρώτο που απεικονίζει τη γραμμικώς ελαστική συμπεριφορά του υλικού και το δεύτερο που δείχνει τη συνεχή ανάπτυξη παραμορφώσεων υπό συνθήκες σταθερών τάσεων, όταν το υλικό φθάσει σε κατάσταση οριακής ισορροπίας ακολουθώντας το κριτήριο αστοχίας κατά Mohr-Coulomb. Στην περίπτωση της ελαστικής συμπεριφοράς οι παραμορφώσεις είναι ανάλογες των μεταβολών των τάσεων και ισχύει ο νόμος του Hooke.



Σχήμα 7.2 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του ελαστικού – τέλεια πλαστικού μοντέλου κατά Mohr-Coulomb



Σχήμα 7.4 Κύκλοι του Mohr στην διαρροή

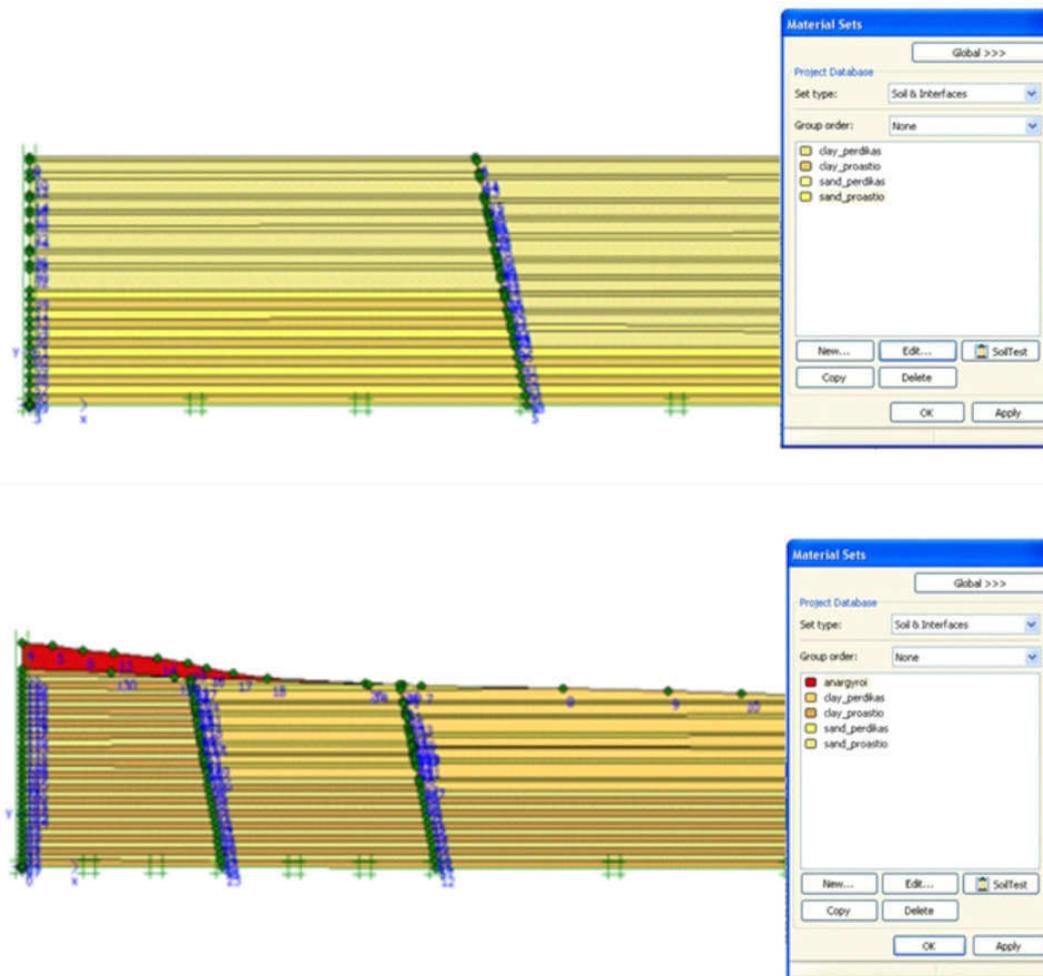
Εκτός από τον καθορισμό των πέντε παραμέτρων κατά την προσομοίωση του εδαφικού μέσου, χρειάζεται να οριστούν οι συνθήκες προσομοίωσης (στραγγιζόμενες ή αστράγγιστες) του σχηματισμού, τα φυσικά χαρακτηριστικά του, όπως φαινόμενη πυκνότητα (γ_{sat} και γ_{unsat}) και συντελεστές διαπερατότητας (k_x και k_y). Επίσης χρειάζεται να καθοριστούν το μέτρο διάτμησης G και το οιδημετρικό μέτρο ελαστικότητας E_{oed} , τα οποία υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα μέσω των τύπων που συνδέει αυτές τις παραμέτρους με το μέτρο ελαστικότητας E και το λόγο Poisson ν . Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής :

$$G = E / 2(1+\nu)$$

$$E_{oed} = (1-\nu) E / (1-2\nu) (1+\nu)$$

Με το πρόγραμμα Plaxis παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού της μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας E και της συνοχής c ως συνάρτηση του βάθους (E_{inc} και $c_{increment}$ αντίστοιχα) στο μενού advanced, από το παράθυρο εισαγωγής των παραμέτρων.

Ο καθορισμός των ιδιοτήτων (material) για τους εδαφικούς σχηματισμούς (soils) για την παρούσα εργασία, έγινε μέσω του παραθύρου material sets (Σχήμα 7.4).



Σχήμα 7.2.2 Προβολή παραθύρου εισαγωγής εδαφικών σχηματισμών στην προσομοίωση των μοντέλων

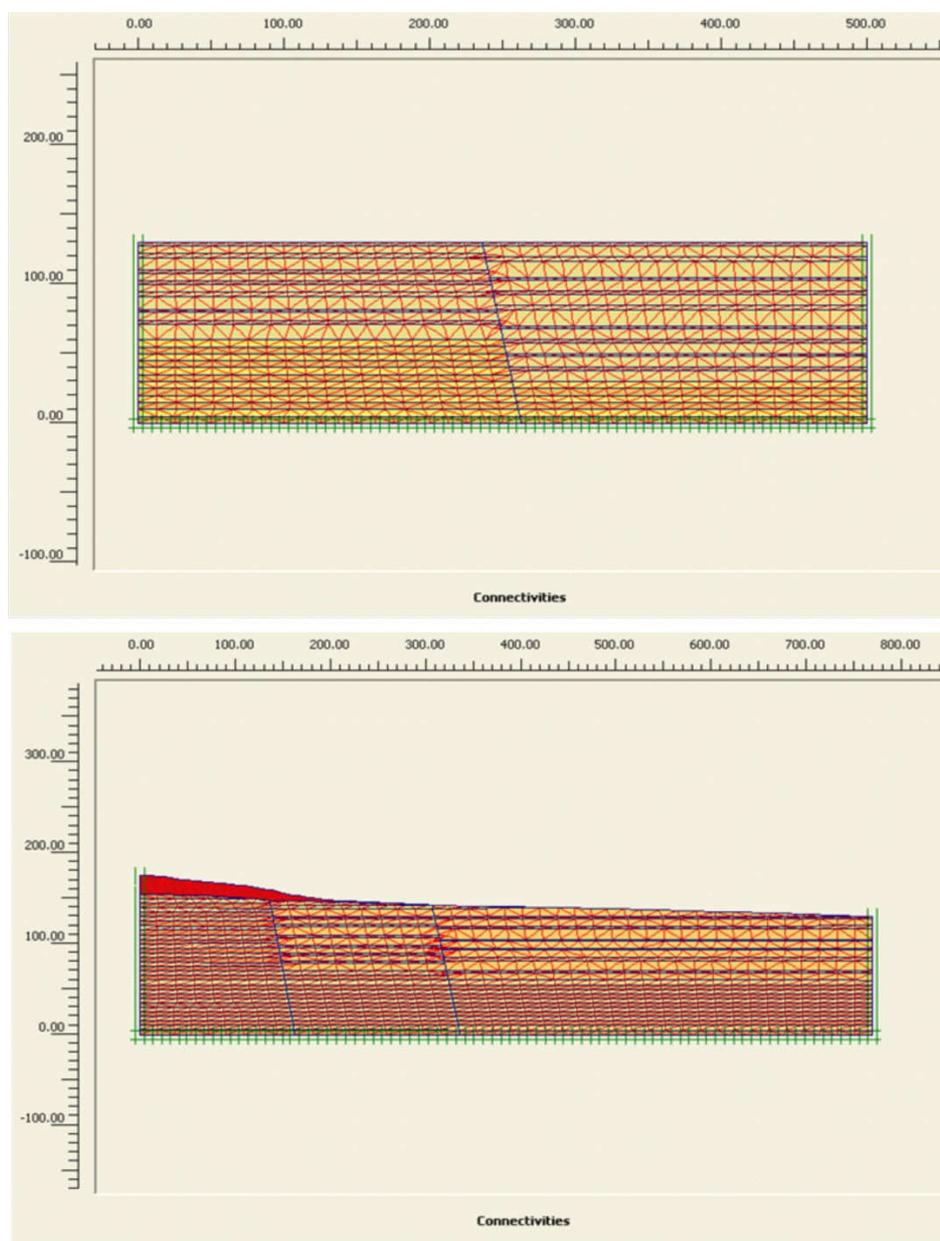
7.2.2.2 Διακριτοποίηση μοντέλου προσομοίωσης

Με τη ολοκλήρωση της γεωμετρικής προσομοίωσης και τον καθορισμό των μηχανικών παραμέτρων όλων των υλικών, παράγεται το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων ενεργοποιώντας την εντολή παραγωγής πλέγματος (generate mesh). Το σύνολο των πεπερασμένων στοιχείων καλείται διακριτοποίηση και γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα Plaxis. Για την επιλογή της επιθυμητής πυκνότητας του πλέγματος υπάρχουν πέντε επίπεδα, πολύ χονδρό πλέγμα (very coarse), χονδρό (coarse), μεσαίο (medium), λεπτό (fine) και πολύ λεπτό (very fine).

Πέρα από την αρχική επιλογή της πυκνότητας, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας τοπικά λεπτότερου πλέγματος (refinement) για μεγαλύτερη ακρίβεια, σε περιοχές όπου υπάρχει συγκέντρωση μεγάλων τάσεων ή ενδέχεται να εμφανιστούν σημαντικές παραμορφώσεις. Η περαιτέρω διακριτοποίηση γίνεται με τις

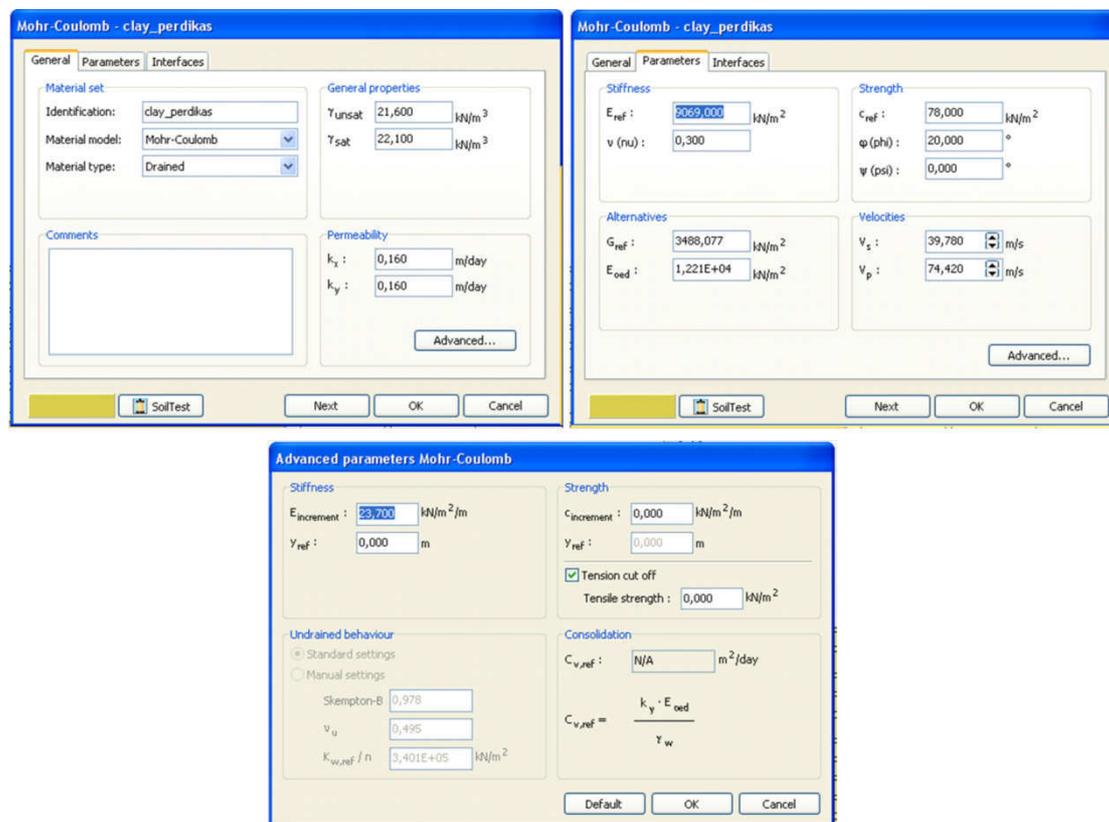
εντολές refine cluster, refine line ή refine around point από το μενού παραγωγής πλέγματος, ανάλογα με το αν η διακριτοποίηση αναφέρεται σε περιοχή, γραμμή ή γωνία, ή απλό σημείο αντίστοιχα.

Σ' αυτή τη μεταπτυχιακή εργασία, επιλέχθηκε πυκνός κάνναβος για την παραγωγή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων. Με την επιλογή αυτή τα στοιχεία που δημιουργήθηκαν στα κεντρικά τμήματα δε διέφεραν πολύ από τα μικρού μεγέθους στοιχεία που προέκυψαν στην περιοχή αποσφήνωσης των εδαφικών ζωνών. Στο σχήμα 7.5 που ακολουθεί φαίνεται το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων για τα μοντέλα προσομοίωσης.



Σχήμα 7.5 Προβολή πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων των δύο μοντέλων προσομοίωσης

Στην εικόνα 7.6 δίνεται ενδεικτικά παράδειγμα εισαγωγής μηχανικών παραμέτρων που απαιτούνται για τον μηχανισμό Mohr Coulomb. □□

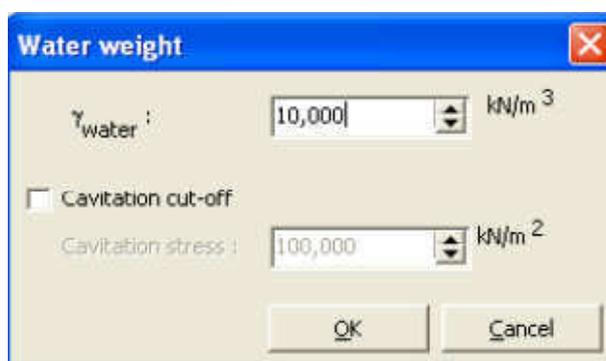


Εικόνα □□□□□□ Παράθυρο Εισαγωγής Μηχανικών Δεδομένων που Απαιτούνται για τον μηχανισμό Mohr Coulomb και συνθηκών προσομοίωσης καθώς και φυσικών χαρακτηριστικών □□

7.2.2.3 Αρχικές εντατικές συνθήκες

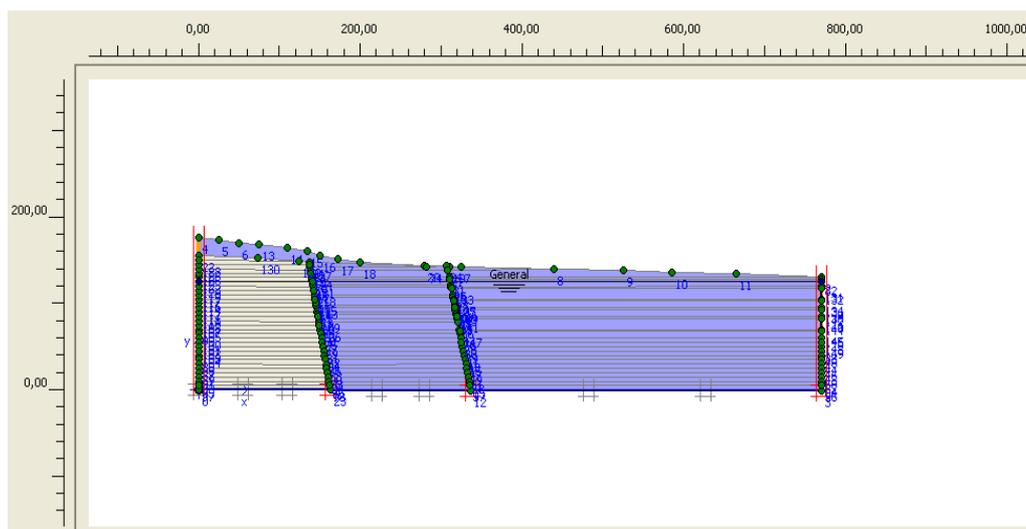
Εφόσον, δημιουργηθεί το γεωμετρικό μοντέλο του προβλήματος και γίνει η διακριτοποίηση του, στη συνέχεια καθορίζεται το αρχικό εντατικό πεδίο (initial conditions). Αυτό πραγματοποιείται με την επιλογή δύο διαφορετικών εντολών. Αρχικά, πρέπει να καθοριστούν οι συνθήκες της πίεσης του νερού (water pressure generation) και να παραχθεί το αρχικό πεδίο υδατικών πιέσεων. Κατόπιν, χρειάζεται να καθοριστεί το αρχικό πεδίο των ενεργών και ολικών τάσεων (initial stresses) που προέρχεται από το ίδιο βάρος των εδαφικών σχηματισμών, μέσω του συντελεστή ουδέτερης ωθήσεως K_0 , ο οποίος συνδέει τις ενεργές οριζόντιες και κατακόρυφες τάσεις ($K_0 = \sigma'_h,0 / \sigma'_{v,0}$). Πριν από τον σχεδιασμό της στάθμης του νερού εμφανίζεται ένα μικρό παράθυρο (Εικόνα 7.7) προκειμένου να οριστεί το ειδικό βάρος του νερού, το οποίο ορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα σε 10 kN/m^3 .

Για να γίνει ο καθορισμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (αν υπάρχει), ο χρήστης ενεργοποιεί αρχικά το εικονίδιο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (phreatic level) και στη συνέχεια σχεδιάζει το επίπεδο της στάθμης των υπόγειων υδάτων με τη βοήθεια του δείκτη του κέρσορα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υπόγειο νερό, η γραμμή της στάθμης σχεδιάζεται πάνω στο κατώτερο όριο της τομής. Στις περιπτώσεις που η πίεση του νερού των πόρων δεν οφείλεται εξ' ολοκλήρου στο ίδιο βάρος υπό υδροστατικές συνθήκες υπάρχουν και άλλες επιλογές που προσφέρει το πρόγραμμα προκειμένου να καθοριστεί το αρχικό υδροστατικό πεδίο, οι οποίες αντιπροσωπεύουν καλύτερα την πραγματικότητα, ωστόσο απαιτούν περισσότερα στοιχεία και είναι αρκετά χρονοβόρες.

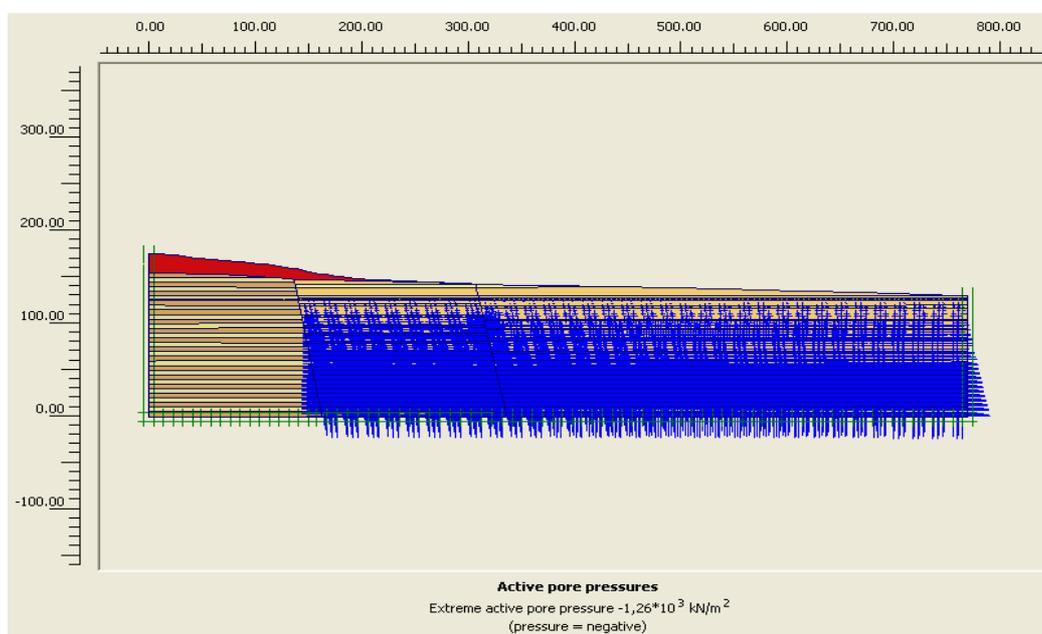


Εικόνα 7.5 Παράθυρο Επιλογής Τιμής Ειδικού Βάρους του Νερού

Ειδικά, για την εργασία αυτήν η στάθμη των υπόγειων υδάτων θεωρήθηκε ότι ξεκινάει από τα -5 m. Αφού, τοποθετήθηκε η γραμμή που απεικονίζει τη στάθμη του νερού, επιλέχθηκε η εντολή closed consolidation boundaries (κλειστά όρια στερεοποίησης), η οποία απεικονίζεται με χονδρή κίτρινη γραμμή, πατώντας με τον κέρσορα στο αντίστοιχο εικονίδιο από τη γραμμή εργαλείων. Στα Σχήματα 7.6 και 7.7 ενδεικτικά δίνονται παραδείγματα για ένα από τα μοντέλα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν για την στάθμη του νερού και την κατανομή της πίεσης των πόρων.

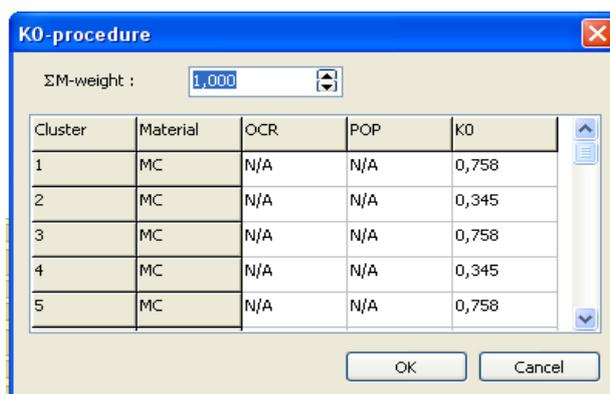


Σχήμα 7.7 Προβολή στάθμης υδροφόρου ορίζοντα και κλειστών ορίων στερεοποίησης

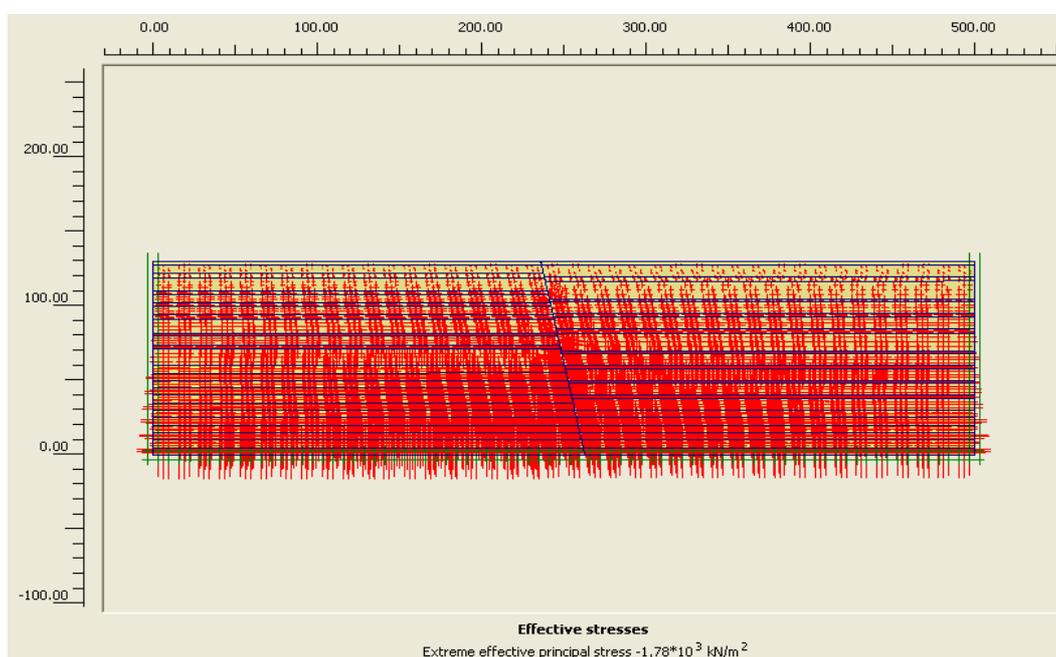


Σχήμα 7.8 Προβολή κατανομής υδροστατικού πεδίου στο μοντέλο προσομοίωσης

Αφού εκτελεστούν τα παραπάνω βήματα σε πρώτη φάση, μετά επιλέγεται η εντολή αρχικές τάσεις (initial stresses). Ο συντελεστής ουδέτερης ώθησης υπολογίζεται από τον τύπο του Jacky $K_0 = 1 - \eta \mu \phi$ για κάθε εδαφικό σχηματισμό της προσομοίωσης (Εικόνα 7.8). Στο σχήμα 7.8 δίνεται ένα παράδειγμα από την κατανομή των αρχικών ενεργών τάσεων.



Εικόνα Παράθυρο εμφάνισης τιμών του συντελεστή αυδέτερης ώθησεως K



Σχήμα Προβολή κατανομής αρχικών ενεργών τάσεων της προσομοίωσης για το μοντέλο με το ρήγμα

7.2.3 Υπολογισμοί (Calculations)

Το επόμενο βήμα μετά τον σχεδιασμό της γεωμετρικού μοντέλου της προσομοίωσης είναι η εκτέλεση των υπολογισμών. Για την έναρξη αυτού του σταδίου απαιτείται ο καθορισμός του τύπου υπολογισμού (calculation type), η εισαγωγή των κατασκευαστικών φάσεων (phases). Υπάρχουν τρεις τύποι υπολογισμού, η πλαστική ανάλυση (plastic analysis), η στερεοποίηση (consolidation analysis) και η ανάλυση που αφορά στον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (phi/c reduction).

Η αρχική φάση (initial phase) με τον αριθμό 0 που εμφανίζεται στο παράθυρο των υπολογισμών, αντιστοιχεί στο αρχικό εντατικό πεδίο που είχε παραχθεί στο

στάδιο της εισαγωγής δεδομένων, μέσω του συντελεστή K_0 , εφόσον η επιφάνεια των εδαφικών στρώσεων της προσομοίωσης είναι οριζόντια.

Προκειμένου να προστεθεί η πρώτη φάση, πρέπει να γίνει επιλογή της εντολής next και στη συνέχεια να καθοριστούν οι διάφορες παραμέτρους (parameters) της. Με τον ίδιο τρόπο εισάγονται όλες οι κατασκευαστικές φάσεις του προβλήματος. Αμέσως μετά, είναι απαραίτητη η ενεργοποίηση των στοιχείων ή τμημάτων του γεωμετρικού μοντέλου που θεωρούνται ότι κατασκευάζονται σε κάθε φάση, τα οποία είχαν απενεργοποιηθεί στο στάδιο εισαγωγής των δεδομένων. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός παραθύρου που ανοίγει πατώντας την εντολή define, το οποίο απεικονίζει το βασικό επίπεδο σχεδίασης x,y του προβλήματος. Έπειτα, μπορούν να αρχίσουν οι υπολογισμοί, με την εντολή calculations, ενώ μπορούν να επιλεγούν κάποια αντιπροσωπευτικά σημεία σε διάφορα επίπεδα (select points for curves). Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα, μετά το πέρας των υπολογισμών, να γίνει εξαγωγή και αξιοποίηση διαγραμμάτων ανάπτυξης των παραμορφώσεων συναρτήσει του βαθμού ολοκλήρωσης της κάθε φάσης στην οποία αυτά αναφέρονται.

Μετά τη ολοκλήρωση των εκάστοτε υπολογισμών, ο χρόνος τερματισμού των οποίων ποικίλει ανάλογα με το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων που έχει επιλεγεί και των δυνατοτήτων του υπολογιστή, η κάθε φάση εμφανίζεται “μαρκαρισμένη” με πράσινο χρώμα, εάν έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς, ενώ σε αντίθετη περίπτωση παρουσιάζεται μήνυμα με κόκκινα γράμματα που αναφέρει τους λόγους για τους οποίους δεν επετεύχθη η επίλυσή της.

Για καθεμιά από τις φάσεις εκκαφής (Staged construction) χρησιμοποιήθηκε σαν τύπος υπολογισμού η ανάλυση στερεοποίησης (consolidation). Για την επίλυση των φάσεων όλων των αναλύσεων ο αριθμός βημάτων (additional steps) θεωρήθηκε 250, τιμή που προεπιλέγει το ίδιο το πρόγραμμα. Κατόπιν, επιλέχθηκε η εντολή define για να εμφανιστεί το παράθυρο με το βασικό επίπεδο σχεδίασης x,y του προβλήματος, ώστε να απενεργοποιηθούν τα διάφορα τμήματα (clusters) του πρσανούς, ανάλογα με τη φάση στην οποία αυτά αναφέρονταν. Στο Σχήμα 7.9 δίνονται παραδείγματα εισαγωγής φάσεων για τα μοντέλα προσομοίωσης.

| Identification | Phase no. | Start from | Calculation | Loading input | Time | Water | First | Last |
|----------------|-----------|------------|----------------------|---------------------|------------|-------|-------|------|
| Initial phase | 0 | 0 | N/A | N/A | 0,00 day | 0 | 0 | 0 |
| ✓ <Phase 1 > | 2 | 0 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 2 | 1 | 13 |
| ✓ <Phase 2 > | 3 | 2 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 3 | 14 | 26 |
| ✓ <Phase 3 > | 4 | 3 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 4 | 27 | 39 |
| ✓ <Phase 4 > | 5 | 4 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 5 | 40 | 52 |
| ✓ <Phase 5 > | 6 | 5 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 6 | 53 | 65 |
| ✓ <Phase 6 > | 7 | 6 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 7 | 66 | 78 |
| ✓ <Phase 7 > | 8 | 7 | Consolidation ana... | Staged construction | 300,00 day | 8 | 79 | 91 |
| ✓ <Phase 8 > | 9 | 8 | Consolidation ana... | Staged construction | 300,00 day | 9 | 92 | 104 |

| Identification | Phase no. | Start from | Calculation | Loading input | Time | Water | First | Last |
|----------------|-----------|------------|----------------------|-----------------------|------------|-------|-------|------|
| Initial phase | 0 | 0 | N/A | N/A | 0,00 day | 0 | 0 | 0 |
| ✓ <Phase 1 > | 1 | 0 | Plastic analysis | Total multipliers | 0,00 day | 0 | 1 | 2 |
| ✓ <Phase2 > | 4 | 1 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 4 | 3 | 13 |
| ✓ <Phase3 > | 5 | 4 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 5 | 14 | 24 |
| ✓ <Phase 4 > | 8 | 5 | Consolidation ana... | Staged construction | 150,00 day | 8 | 25 | 35 |
| ✓ <Phase 5 > | 7 | 8 | Consolidation ana... | Minimum pore pressure | 30,69 day | 8 | 36 | 37 |

Σχήμα 7.2.4 Παραδείγματα εισαγωγής φάσεων κατασκευής στα μοντέλα προσομοίωσης στο υποπρόγραμμα υπολογισμών

7.2.4 Πρόγραμμα αποτελεσμάτων (output)

Μετά το τέλος των υπολογισμών, υπάρχει δυνατότητα επισκόπησης των αποτελεσμάτων των αναλύσεων μέσω του προγράμματος output. Το πρόγραμμα αυτό ανοίγει επιλέγοντας την εντολή output από την γραμμή εργαλείων και παρουσιάζει, μέσω της ενεργοποίησης διαφόρων εντολών, διαγράμματα διαφόρων μεγεθών όπως των οριζόντιων ή κατακόρυφων μετατοπίσεων, των τάσεων, της υπερπίεσης του νερού των πόρων, κ.α. για κάθε μία φάση των υπολογισμών.

Για την παρουσίαση των ανωτέρω μεγεθών το πρόγραμμα χρησιμοποιεί χρωματικές διαβαθμίσεις (shadings) ή διανύσματα αν πρόκειται για μετατοπίσεις. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα επισκόπησης των τιμών των μεγεθών μέσω πινάκων που εμφανίζονται πατώντας την αντίστοιχη εντολή.

7.3 Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά σχηματισμών περιοχής

Η προσομοίωση ενός εδαφικού μέσου μπορεί να γίνει με τη χρήση διάφορων καταστατικών μοντέλων, όπως αναφέρθηκε ήδη, από τους οποίους το πιο γνωστό είναι αυτό του ελαστικού – τέλεια πλαστικού εδάφους κατά Mohr-Coulomb, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στη συγκεκριμένη εργασία για να περιγράψει τη συμπεριφορά των σχηματισμών που βρίσκονται στην περιοχή έρευνας .

Σ' όλες τις αναλύσεις θεωρήθηκε ότι για τους σχηματισμούς μας έχουμε αποστραγγιζόμενες συνθήκες (drained conditions), καθώς η στερεοποίηση επιλύεται υπό το καθεστώς στραγγιζόμενων συνθηκών.

Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων του περδίκια (αργιλοϊλυώδεις άμμοι και αμμώδεις αργιλοϊλύες), του προαστίου (αργιλοϊλυώδεις άμμοι με χαλίκια και αμμώδεις αργιλοϊλύες), και του σχηματισμού των Αναργύρων που εισήχθησαν για την προσομοίωση του εδάφους, προέκυψαν κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας τιμών από εργαστηριακές δοκιμές που είχαν γίνει στην ευρύτερη περιοχή στα πλαίσια γεωτεχνικών μελετών που μας παραχωρήθηκαν από τις τεχνικές υπηρεσίες του Δήμου Αμυνταίου (Λουπασάκης, 2006, Κούκα, 2010).

Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός των παραμέτρων, όπως της συνοχής c , της γωνίας τριβής ϕ , του ξηρού φαινομένου βάρους, της φυσικής υγρασίας w (%), του δείκτη πόρων e_o , της περατότητας k και της αντοχής q_u έγινε βρίσκοντας τους μέσους όρους για τον κάθε σχηματισμό από δοκιμές, όπως δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης, διάτμησης και συμπίεστικότητας.

Στην παρούσα εργασία το μέτρο ελαστικότητας E υπολογίστηκε από δοκιμές οιδημέτρου. Έχοντας το οιδημετρικό μέτρο ελαστικότητας E_{oed} στη συνέχεια με την βοήθεια του τύπου $E_{oed} = (1-\nu) E / (1-2\nu) (1+\nu)$ υπολογίστηκε το E_{50} , θέτοντας λόγο Poisson ν ίσο με 0,30.

Οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων για κάθε έναν σχηματισμό, για όλες τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν αναφέρονται στον Πίνακα 7.1 και 7.2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 7.1 Πίνακας Τιμές Εδαφικών Παραμέτρων που Εισήχθησαν για την Προσομοίωση των Εδαφικών Όλικών

| Εδαφικός σχηματισμός / Εδαφικές παράμετροι | Αργιλοϊλυώδεις άμμοι Περδίκια | Αμμώδεις αργιλοϊλίες Περδίκια | Αμμώδεις αργιλοϊλίες Προαστίου | Αργιλοϊλυώδεις άμμοι με χαλίκια Προαστίου | Σχηματισμός Αναργύρων |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------|
| γ_{sat} (kN/ m ³) | 22,1 | 25,1 | 23,5 | 25,9 | 23,7 |
| γ_{unsat} (kN/m ³) | 21,6 | 21,7 | 21,5 | 21,5 | 18,8 |
| k_x (m/day) | 0,16 | 2,94 | 0,63 | 56,6 | 0,089 |
| k_y (m/day) | 0,16 | 2,94 | 0,63 | 56,6 | 0,089 |
| E_{ref} (kN/ m ²) | 9069 | 9003 | 40000 | 80000 | 5200 |
| ν | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| C (kN /m ²) | 78 | 82 | 80 | 0 | 122 |
| ϕ | 20 | 26,5 | 14 | 40,9 | 22 |
| ψ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E_{inc} (kN/ m ² /m) | 23,7 | 324 | - | - | - |

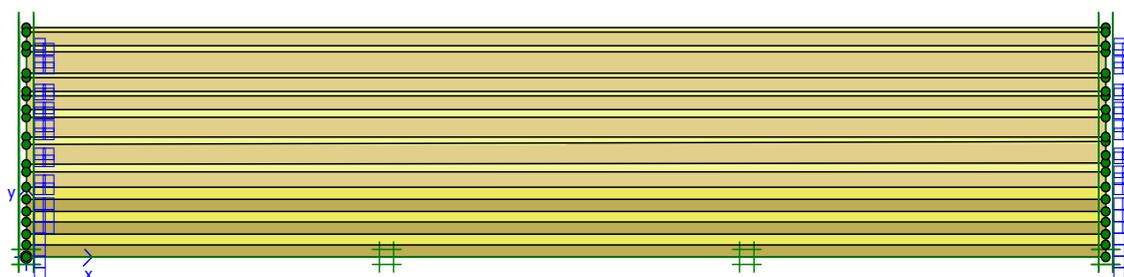
Πίνακας 7.2 Πίνακας Τιμές Εδαφικών Παραμέτρων που Εισήχθησαν για την Προσομοίωση των Εδαφικών Όλικών

| Εδαφικός σχηματισμός / Εδαφικές παράμετροι | Αργιλοϊλυώδεις άμμοι Περδίκια | Αμμώδεις αργιλοϊλίες Περδίκια | Αμμώδεις αργιλοϊλίες Προαστίου | Αργιλοϊλυώδεις άμμοι με χαλίκια Προαστίου | Σχηματισμός Αναργύρων |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------|
| Φυσική υγρασία w (%) | 30-36 | 15-17 | 21,84 | 12,70 | 14 |
| Ξηρό φαινόμενο βάρος γ_d (kN/m ³) | 16 | 18,7 | 17,68 | 19,05 | 16,5 |
| Δείκτης πόρων e_o | 0,79 | 0,57 | 0.716 | 0.46 | 0,38 |
| n | 0,59 | 0,64 | 0,58 | 0,68 | 0,72 |
| Αστρ.αντοχή q_u (kPa) | 103 | 246,5 | 221,6 | 45 | - |

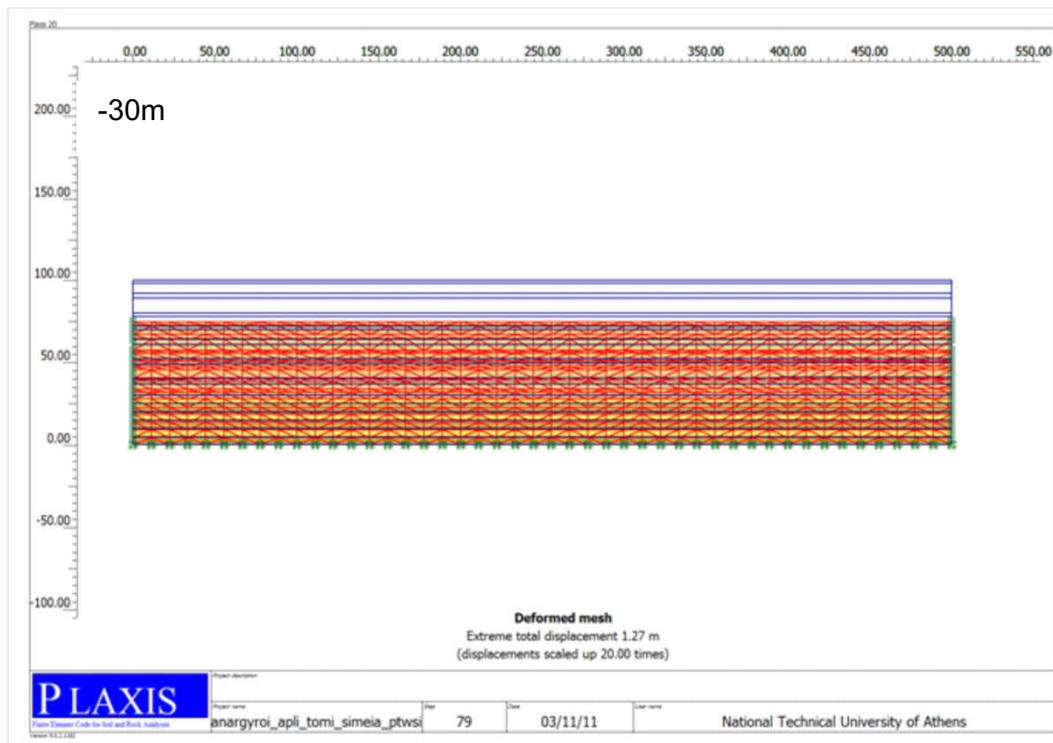
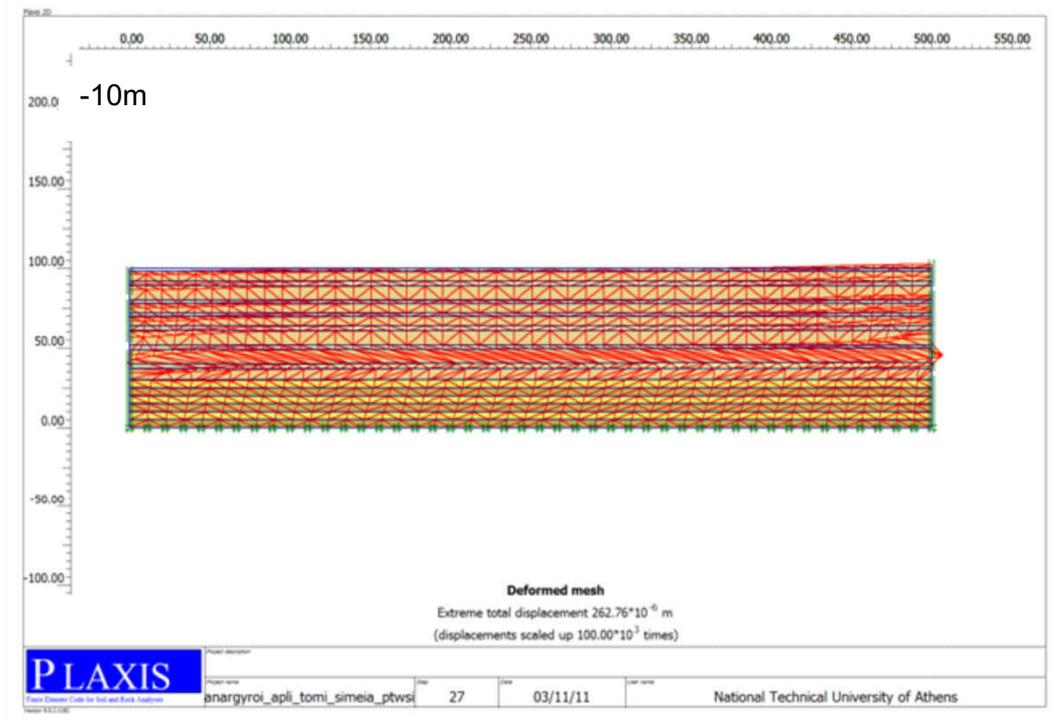
7.4 Περιγραφή των μοντέλων προσομοίωσης που επιλέχθηκαν στην περιοχή

Για τη μεταπτυχιακή εργασία έγιναν παραμετρικές αναλύσεις σε πρώτο στάδιο έχοντας ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης, με τους εδαφικούς σχηματισμούς της περιοχής σε διάφορα ποσοστά (Εικόνα 7.9) και κατεβάζοντας την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Αρχικά η στάθμη κατέβηκε από την επιφάνεια του εδάφους (0m) ανά 5m μέχρι τα 30 m και στην συνέχεια μέχρι τα 50 ανά 10m, με σκοπό να εξεταστούν οι παραμορφώσεις στην επιφάνεια του εδάφους για τις αντίστοιχες πτώσεις στάθμης.

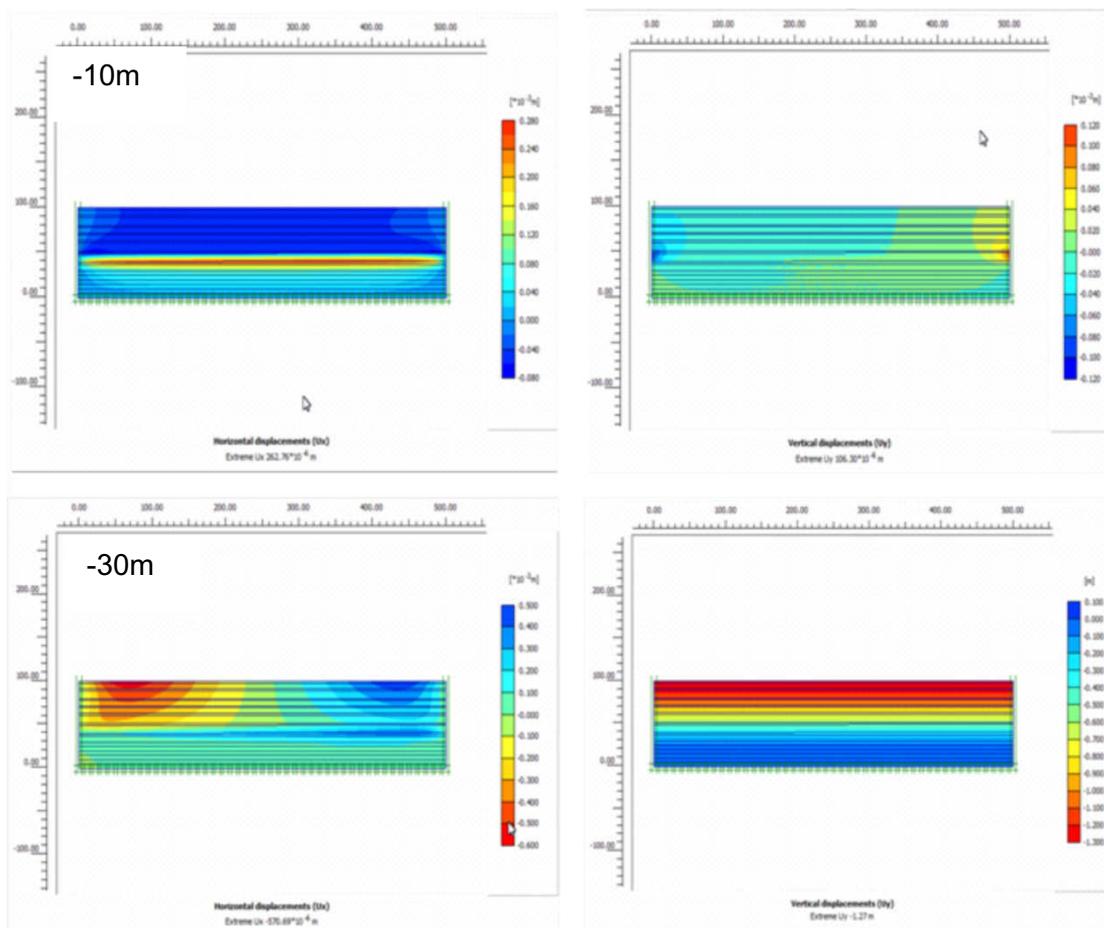
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και φαίνονται ενδεικτικά για δυο στάθμες πτώσης Υ.Ο., 10 και 30 m αντίστοιχα, στον Πίνακα 7.3, δεν μπορούν να επιβεβαιωθούν επαρκώς λόγω απουσίας στοιχείων όπως τοπογραφικές μετρήσεις που να δείχνουν τον ρυθμό παραμόρφωσης. Το μοντέλο αυτό προσομοίωσης δείχνει πως παραμορφώνεται το έδαφος σε σχέση με την πτώση στάθμης που παρουσιάζει κάθε φορά ο υδροφόρος (Εικόνες 7.10, 7.11), δεν μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματά του για την ερμηνεία διαφορικών υποχωρήσεων. Επομένως, για τους λόγους που αναφέρθηκαν δεν παρατίθενται περαιτέρω αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων. Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί ότι στοιχεία από τις αναλύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν στις μετέπειτα αναλύσεις.



Εικόνα Προβολή γεωμετρίας απλού μοντέλου προσομοίωσης



Εικόνα 7.11 Παρουσίαση κατανομής συνολικών μετακινήσεων για το απλό μοντέλο προσομοίωσης για πτώση στάθμης 10m και 30m αντίστοιχα



Εικόνα 7.1 Παρουσίαση κατανομής κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων για το απλό μοντέλο προσομοίωσης για πτώση στάθμης 10m και αντίστοιχα

□

Πίνακας 7.1 Τιμές οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων για ητώσεις στάθμης στα 10m και στα 30m αντίστοιχα

| Πτώση στάθμης Υ.Ο. (m) | Horizontal displacements Ux (m) | Vertical displacements Uy (m) |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| -10m | $262,76 \cdot 10^{-6}$ | $106,30 \cdot 10^{-6}$ |
| -30m | $570,69 \cdot 10^{-6}$ | 1,27 |

Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι καθώς αυξάνεται το βάθος της στάθμης του Υ.Ο. αυξάνονται και οι κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια. Χαρακτηριστικά, για πτώση στάθμης 10m οι κατακόρυφες μετακινήσεις είναι $106.30 \cdot 10^{-6}$ m και για 30m πτώση στάθμης είναι 1,27m. Για πτώση στάθμης νερού σε μεγαλύτερα βάθη αναμένονται μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις.

Η δεύτερη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διερευνηθούν οι διαφορικές παραμορφώσεις εκατέρωθεν ρηγμάτων. Οι σχηματισμοί που εισήχθησαν στις αναλύσεις αυτές ήταν ο σχηματισμός του Περδίκας και του Προαστίου. Στο προσομοίωμα αυτό διατηρήθηκε από την αριστερά πλευρά του ρήγματος σταθερή η αναλογία άμμου/αργίλου (1:3), ενώ δεξιά του ρήγματος διαφοροποιήθηκαν τα ποσοστά άμμου/αργίλου διατηρώντας όμως σταθερά τα συνολικά πάχη των σχηματισμών.

Τα ποσοστά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν :

- ✓ 1 άμμος / 3,5 άργιλος
- ✓ 1 άμμος / 4 άργιλος
- ✓ 1 άμμος / 5 άργιλος
- ✓ 1 άμμος / 6 άργιλος

Σε αυτές τις παραμετρικές αναλύσεις η πτώση στάθμης του Υ.Ο. είναι ανάλογη με αυτή του απλού μοντέλου προσομοίωσης. Δηλαδή για τα 30 πρώτα μέτρα η στάθμη του Υ.Ο. πέφτει ανά 5 m, και από τα 30 μέχρι τα 50 m πέφτει ανά 10 m. Οι φάσεις που ορίστηκαν για τις παραμετρικές αναλύσεις αυτές ήταν εννέα (9).

Ο σχηματισμός Περδίκας λόγω της δομής του και των μηχανικών του χαρακτηριστικών του συσχετίζεται άμεσα με τα φαινόμενα των εδαφικών υποχωρήσεων. Ο σχηματισμός αυτός πριν από την υποβίβαση της στάθμης βρίσκονταν σε καθεστώς κανονικής στερεοποίησης. Το στοιχείο αυτό προκύπτει από τη συσχέτιση των τάσεων προφόρτισης με τις ενεργές τάσεις, που ασκούσαν κατά το παρελθόν από τα γεωστατικά φορτία. Η αύξηση των γεωστατικών φορτίων έχει ως αποτέλεσμα την επανενεργοποίηση των φαινομένων στερεοποίησης. Τα φαινόμενα αυτά δικαιολογούν την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων, οι οποίες στην επιφάνεια εκδηλώνονται με εδαφικές διαρρήξεις και διαφορικές υποχωρήσεις (Λουπασάκης, 2006).

Μετά την υποβίβαση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων, η οποία σε περιοχές κοντά στο Ορυχείο Αμυνταίου υπερβαίνουν ακόμα και τα 35-45 m, οι ενεργές τάσεις πολλαπλασιάστηκαν καθώς εξαλείφθηκαν οι υδροστατικές πιέσεις.

Όσον αφορά τον σχηματισμό του Προαστίου τα μηχανικά χαρακτηριστικά τόσο της αδρομερούς όσο και της λεπτομερούς φάση του δεν επιτρέπουν την εκδήλωση σημαντικών εδαφικών υποχωρήσεων λόγω της ταπείνωσης της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων.

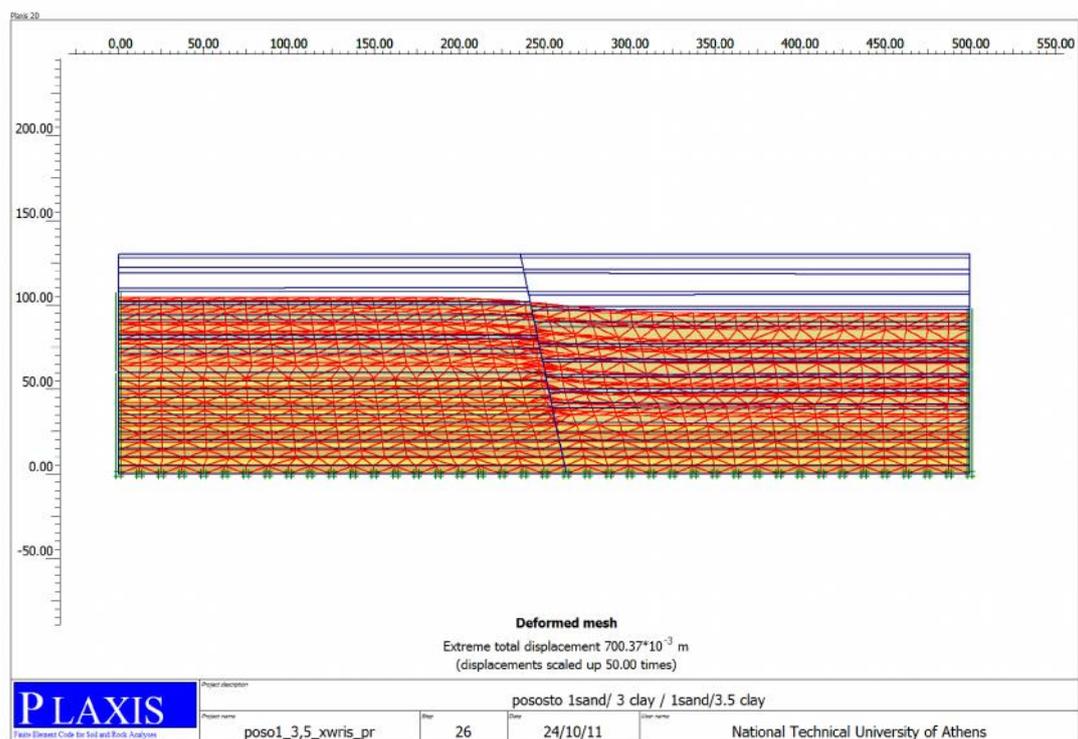
Η Τρίτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων αποσκοπούσε στην ερμηνεία των εδαφικών παραμορφώσεων των σχηματισμών στον οικισμό των Αναργύρων σε τομή κάθετη στο πρηνές που δομείται ο οικισμός. Στο μοντέλο αυτό προσομοίωσης οι σχηματισμοί που συναντώνται είναι ο σχηματισμός Αναργύρων, Περδίκια και Προαστίου. Ο σχηματισμός Αναργύρων έχει μικρό πάχος εμφάνισης και βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως, οι όποιες μετακινήσεις παρατηρούνται στην περιοχή δεν μπορεί να αποδοθούν στη μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού Αναργύρων. Αντίθετα ο σχηματισμός Περδίκια εξαιτίας της δομής του, της εναλλαγής στο πάχος εμφάνισης του και των μηχανικών του χαρακτηριστικών του, επιτρέπει την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων, στα τμήματα που παρατηρείται αντίστοιχη υποβίβαση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων. Οι μεταβολές στο πάχος του συγκεκριμένου σχηματισμού είναι υπαίτιες για τις διαφορικές παραμορφώσεις που εκδηλώνονται στην επιφάνεια. Στο μοντέλο αυτό προσομοίωσης η στάθμη του Υ.Ο. πέφτει μέχρι τα -20 m ανά 5 m.

7.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Η ένταση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων, όπως προέκυψε από τις αναλύσεις που έγιναν, είναι ανάλογη της ταπείνωσης της στάθμης του υδροφόρου. Δηλαδή στις αναλύσεις με εντονότερη ταπείνωση της στάθμης οι εδαφικές υποχωρήσεις είναι μεγαλύτερες. Η υποβίβαση της στάθμης προκάλεσε την επαναδραστηριοποίηση του μηχανισμού στερεοποίησης των σχηματισμών, με αποτέλεσμα την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων (Λουπασάκης, 2006).

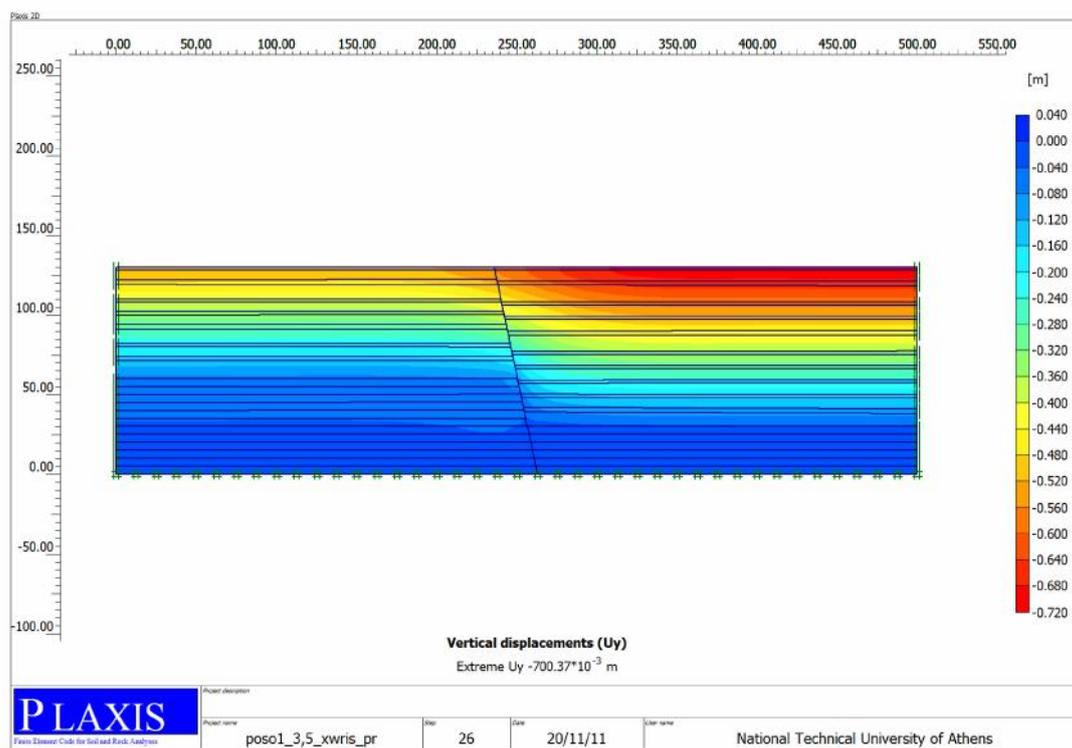
Από την δεύτερη φάση των προσομοιώσεων, η οποία είχε ως στόχο τη διερεύνηση των διαφορικών παραμορφώσεων εκατέρωθεν ρηγμάτων παρουσιάζονται τα παρακάτω σχήματα, και στα οποία φαίνονται οι συνολικές και οι κατακόρυφες μετακινήσεις του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία σχηματισμών 1sand/ 3 clay / 1sand/ 3.5 clay για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m. Τα σχήματα αυτά αποσκοπούν στην κατά το δυνατό πληρέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των παραμετρικών αναλύσεων, και ως εκ τούτου την εκπλήρωση του στόχου της δεύτερης φάσης των προσομοιώσεων που αναφέρεται παραπάνω. Τα σχήματα των υπόλοιπων ομάδων επισυνάπτονται στο Παράρτημα της παρούσας Εργασίας.

Μεγαλύτερη υποχώρηση παρουσιάζει το κομμάτι δεξιά του ρήγματος, όπου επικρατεί σε μεγαλύτερο ποσοστό η λεπτομερής φάση του σχηματισμού Περδίκια.



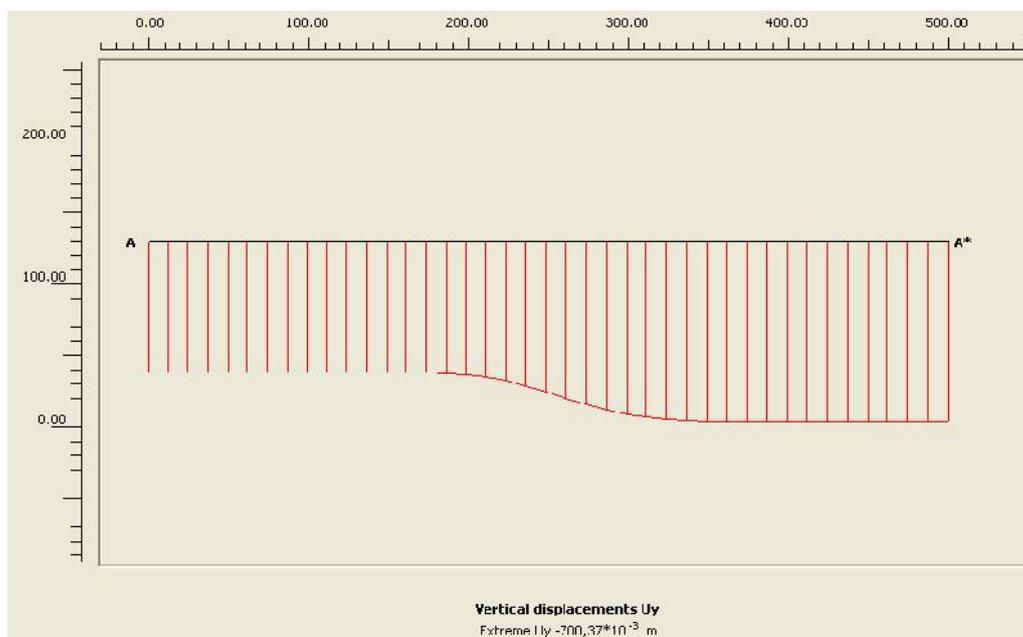
Σχήμα 7.10: Παρουσίαση κατανομής συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

Η περιοχή που υφίσταται τις μεγαλύτερες κατακόρυφες μετακινήσεις παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 7.11. και αποδεικνύει ότι μεγαλύτερη υποχώρηση παρουσιάζει το κομμάτι δεξιά του ρήγματος, όπου επικρατεί σε μεγαλύτερο ποσοστό η λεπτομερής φάση του σχηματισμού Περδίκια.

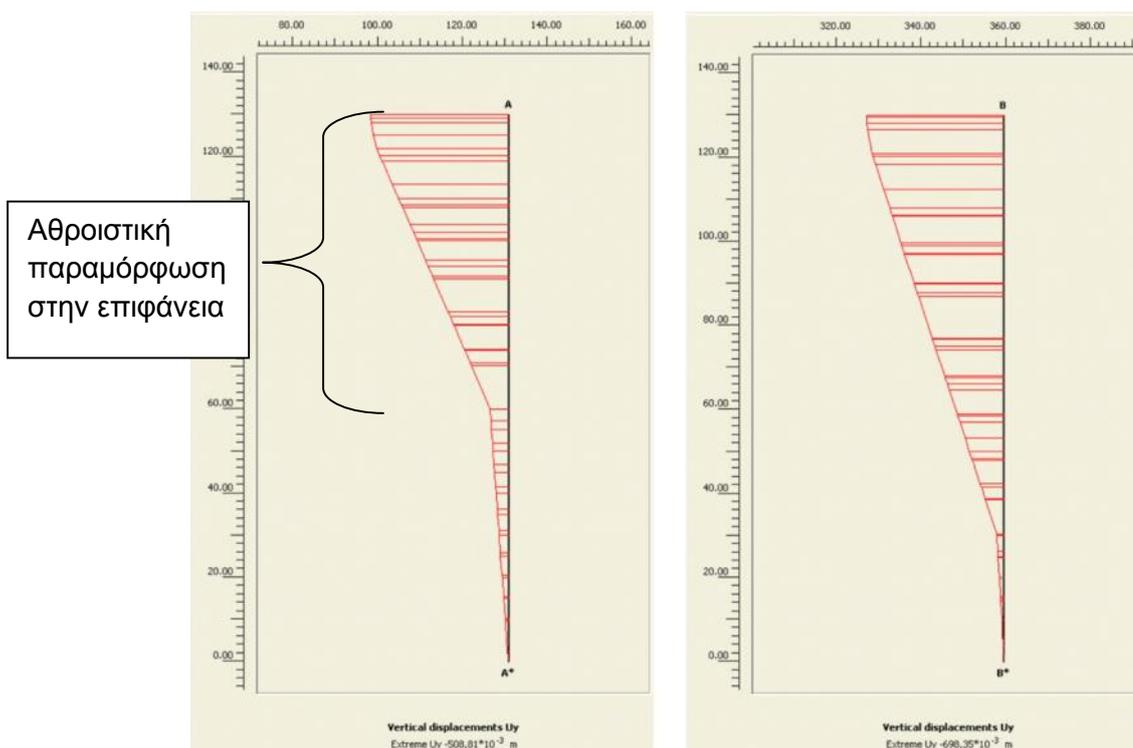


Σχήμα 7.11: Παρουσίαση κατανομής κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

Στην τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m φαίνεται η απότομη υποχώρηση, που σημειώνεται λόγω της ύπαρξης λεπτομερούς φάσης δεξιά του ρήγματος σε μεγαλύτερο ποσοστό από αυτή που βρίσκεται αριστερά. Ενώ στις τομές που έγιναν κατακόρυφα εκατέρωθεν του ρήγματος παρατηρείται αλλαγή της κλίσης στο σημείο αλλαγής του σχηματισμών Περδίκια και Προαστίου και αθροιστική παραμόρφωση στην επιφάνεια.



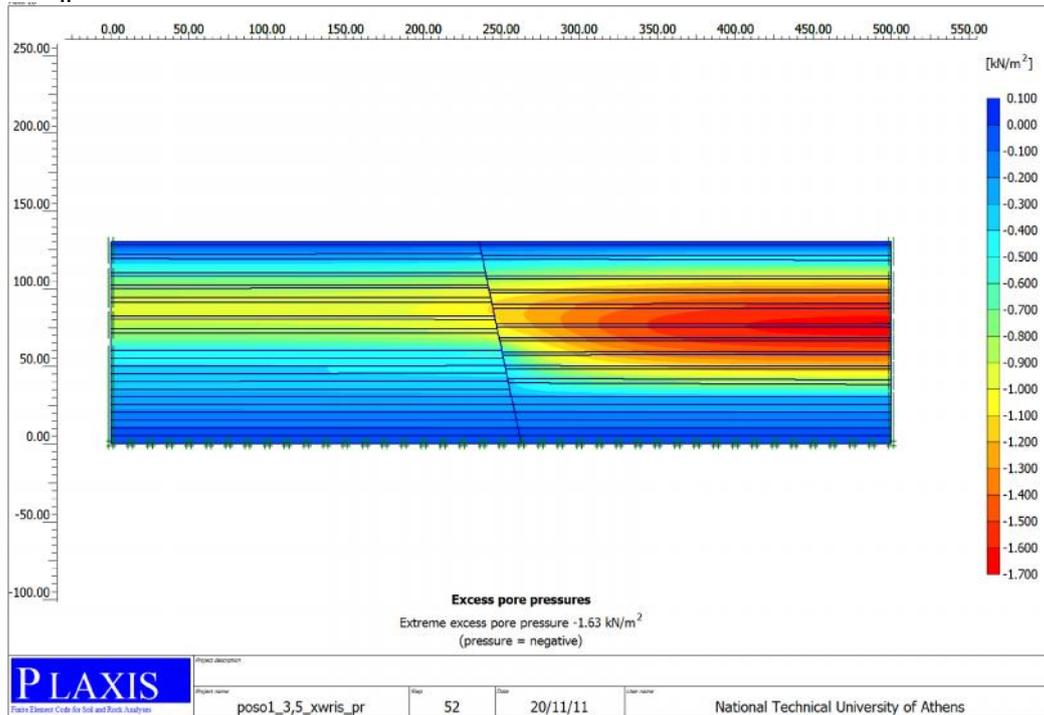
Σχήμα 7.12: Τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m, που δείχνει τις κατακόρυφες μετακινήσεις.



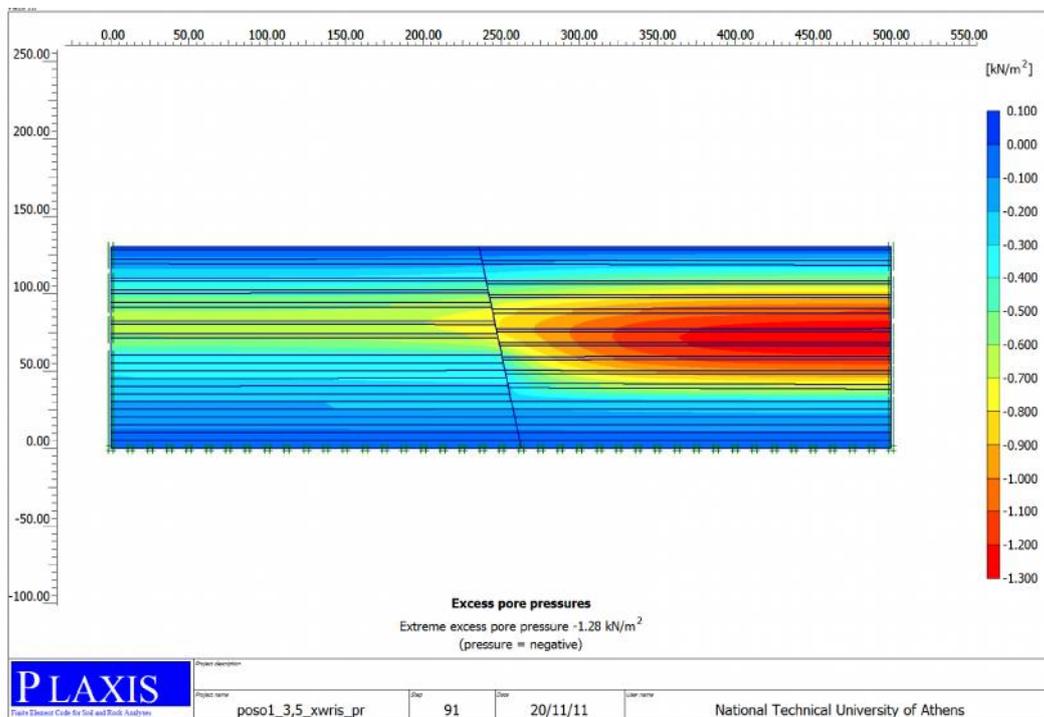
Σχήμα 7.13: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

Μέσα από τις παραμετρικές αναλύσεις που έγιναν, μπόρεσαν να εξαχθούν σχήματα και διαγράμματα και για την υπερπίεση νερού των πόρων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.14 αλλά και στο Σχήμα 7.15, η πίεση των πόρων μειώνεται όσο

αυξάνεται το βάθος. Στα -40m πτώση στάθμης Υ.Ο. η τιμή της πίεσης του νερού είναι αρκετά μικρή, γεγονός που υποδηλώνει ότι η στερεοποίηση έχει πρακτικώς ολοκληρωθεί.

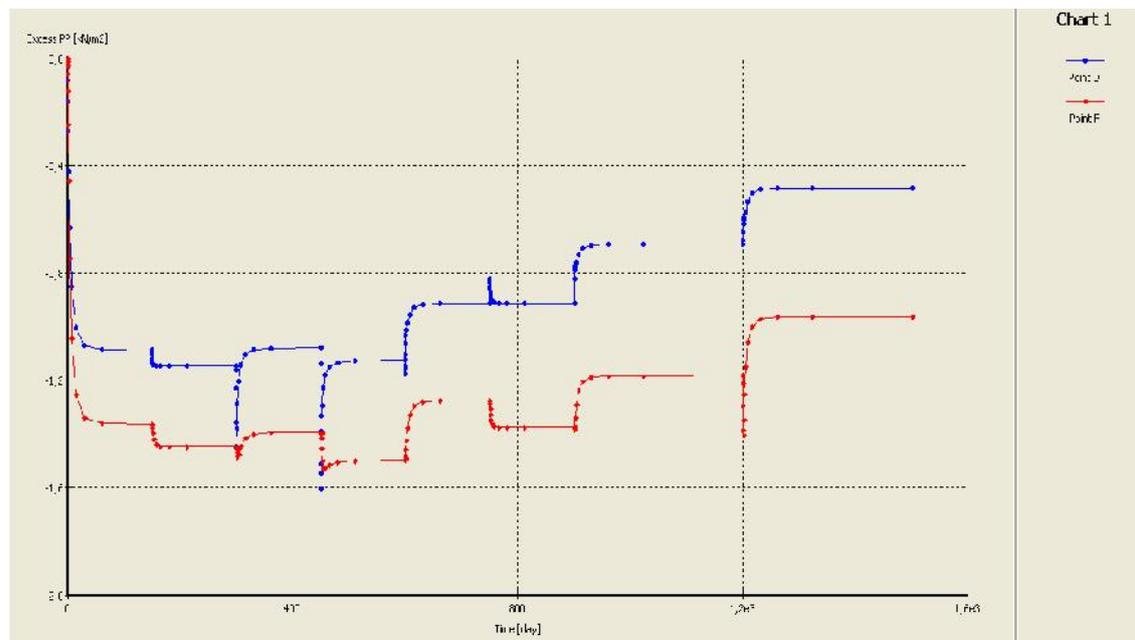


Σχήμα 7.14: Προβολή κατανομής υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



Σχήμα 7.14: Προβολή κατανομής υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 40m.

Στο σχήμα 7.16 φαίνεται η απομείωση της υπερπίεσης νερού των πόρων με την πάροδο του χρόνου για το μοντέλο με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος. Αναλυτικότερα προκύπτει ότι χρειάζονται περίπου 40 μέρες για να ολοκληρωθεί το φαινόμενο της στερεοποίησης σε κάθε φάση, χρόνος σχετικά μικρός, αποδεικνύοντας επομένως τον γρήγορο ρυθμό εξέλιξης του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων.



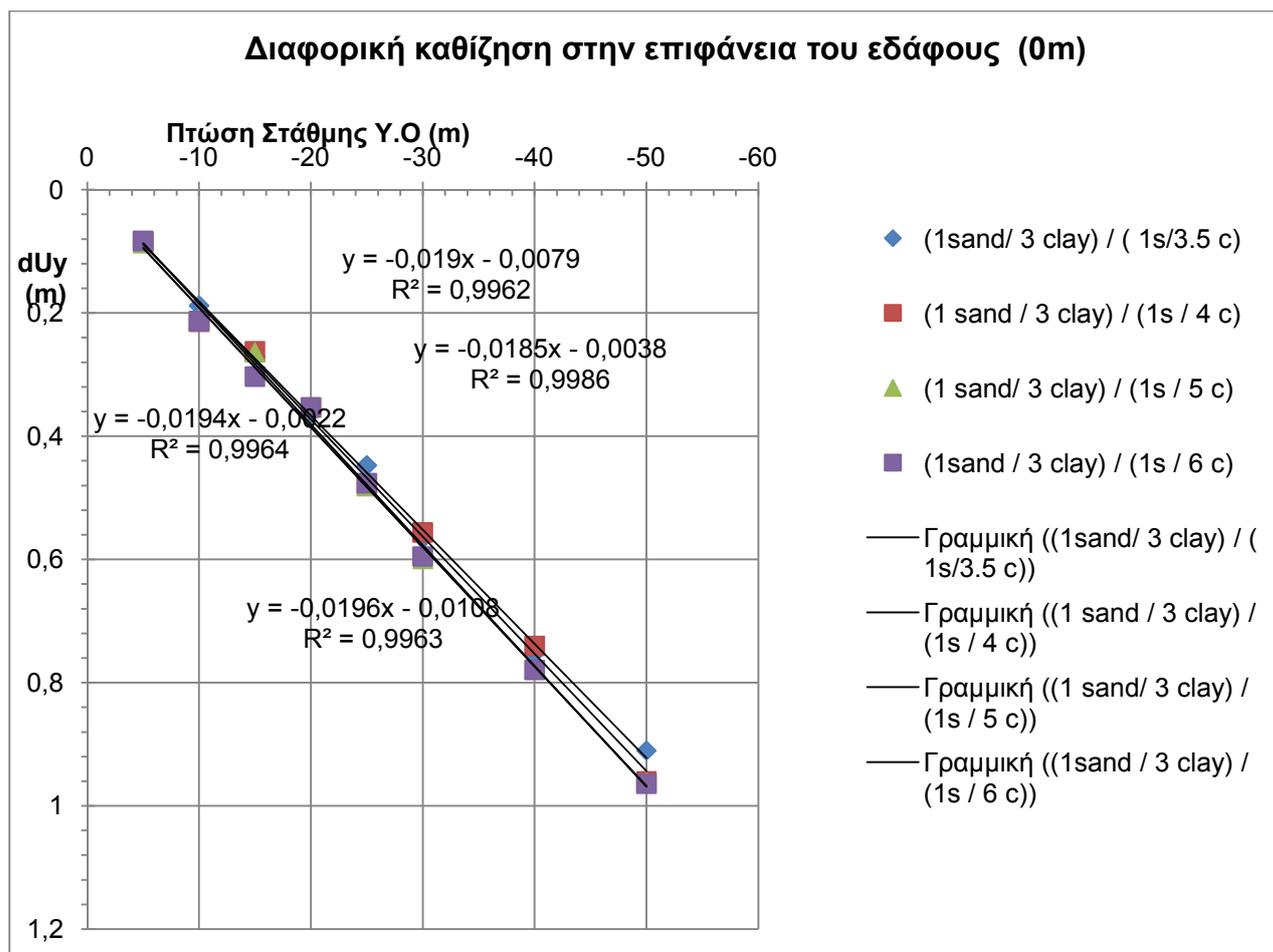
Σχήμα 7.16: *Διάγραμμα υπερπίεσης νερού των πόρων συναρτήσεως του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος.*

Για κάθε μια ανάλυση με την εκάστοτε αναλογία σχηματισμών συγκεντρώθηκαν οι τιμές των διαφορικών μετακινήσεων για όλα τα βάθη του υδροφόρου ορίζοντα όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7.4. Το διάγραμμα που προέκυψε από τις τιμές αυτές φαίνεται στα Σχήματα 7.17 και 7.18.

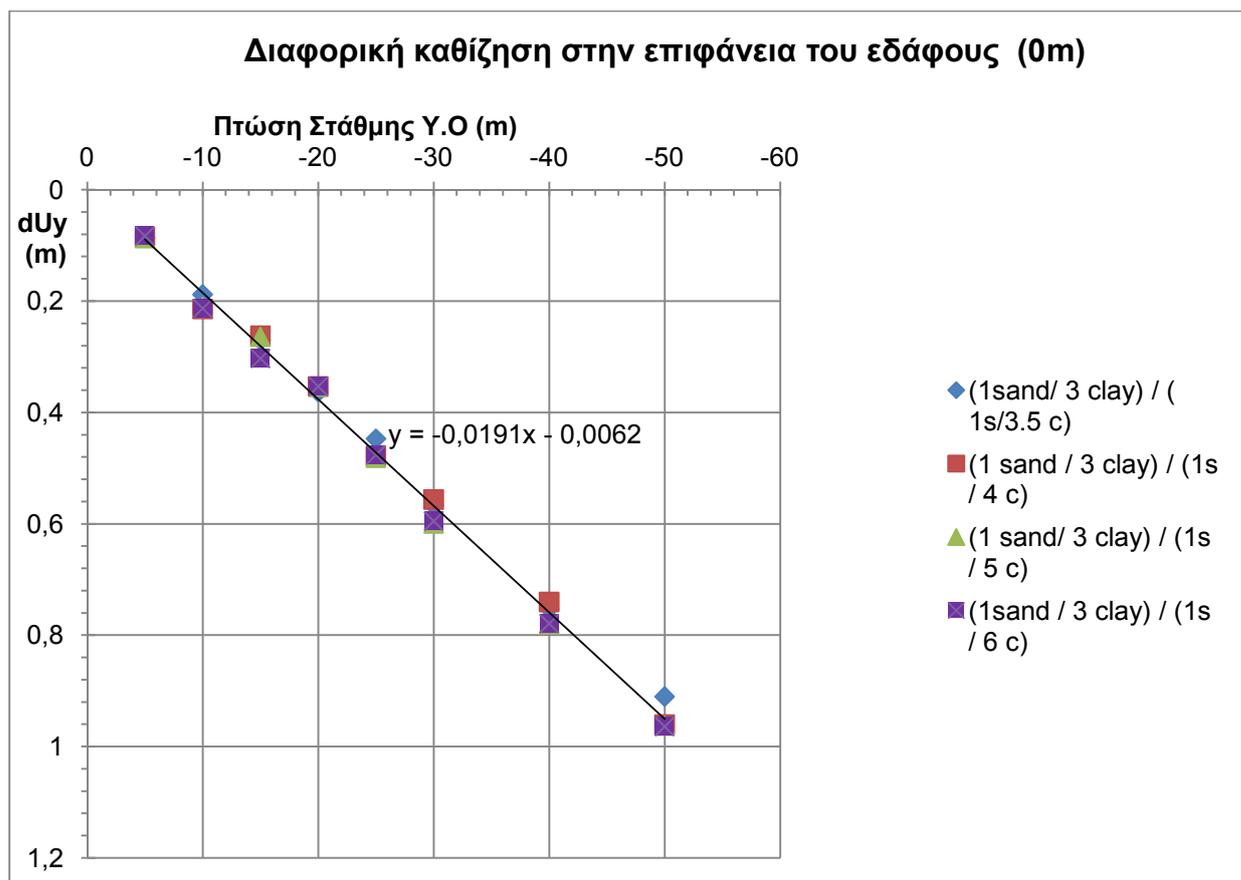
Αυτό που προκύπτει από τα Σχήματα 7.17 και 7.18 είναι ότι όσο πέφτει η στάθμη του νερού τόσο μεγαλύτερες διαφορικές καθιζήσεις παρουσιάζονται στην επιφάνεια. Μάλιστα όπως φαίνεται και στα σχήματα, υπάρχει γραμμική σχέση. Έτσι για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50 m οι διαφορικές μετακινήσεις για τα διάφορα ποσοστά σχηματισμών φτάνουν κοντά στο 1 m. Ωστόσο για την ίδια πτώση στάθμης στα εκάστοτε ποσοστά σχηματισμών δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις απόλυτες τιμές των υποχωρήσεων.

Πίνακας 7.4: Τιμές διαφορικών μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους (0m) συναρτήσει της πτώσης στάθμης του Υ.Ο. για τα διάφορα ποσοστά αναλογίας άμμου/αργίλου στα μοντέλα προσομοίωσης με το ρήγμα.

| | Ποσοστό 1sand / 3.5 clay | Ποσοστό 1sand /4 clay | Ποσοστό 1sand / 5clay | Ποσοστό 1sand / 6 clay |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Πτώση στάθμης Υ.Ο. | dUy (1s /3.5c) | dUy (1s /4c) | dUy (1s /5c) | dUy (1s /6c) |
| -5 | 0.086 | 0.085 | 0.0864 | 0.0829 |
| -10 | 0.188 | 0.214 | 0.21 | 0.213 |
| -15 | 0.27 | 0.262 | 0.264 | 0.303 |
| -20 | 0.363 | 0.353 | 0.353 | 0.353 |
| -25 | 0.447 | 0.478 | 0.481 | 0.476 |
| -30 | 0.566 | 0.556 | 0.599 | 0.595 |
| -40 | 0.752 | 0.74 | 0.779 | 0.779 |
| -50 | 0.91 | 0.96 | 0.962 | 0.964 |



Σχήμα 7.17: Διάγραμμα διαφορικών μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους (0m) συναρτήσει της πτώσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για τα διάφορα ποσοστά αναλογίας άμμου/αργίλου στα μοντέλα προσομοίωσης με το ρήγμα.

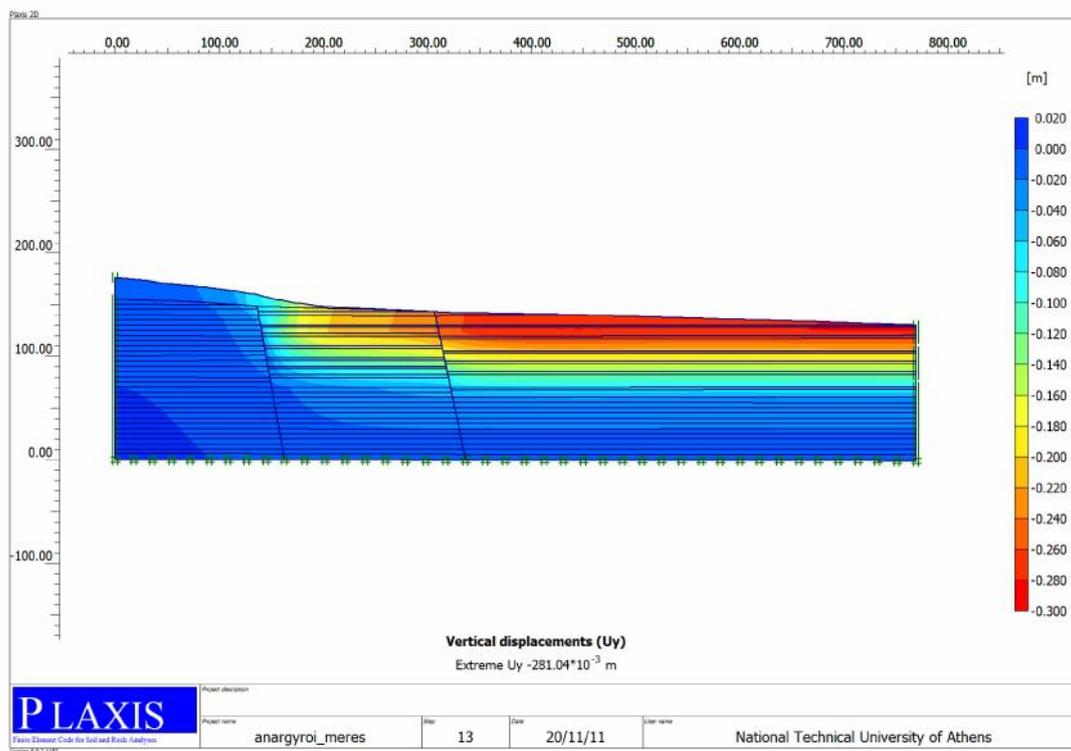


Σχήμα 7.18: Διάγραμμα διαφορικών μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους (0m) συναρτήσει της πτώσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για τα διάφορα ποσοστά αναλογίας άμμου/αργίλου στα μοντέλα προσομοίωσης με το ρήγμα εκφρασμένες ως γραμμική τάση του μέσου όρους τους.

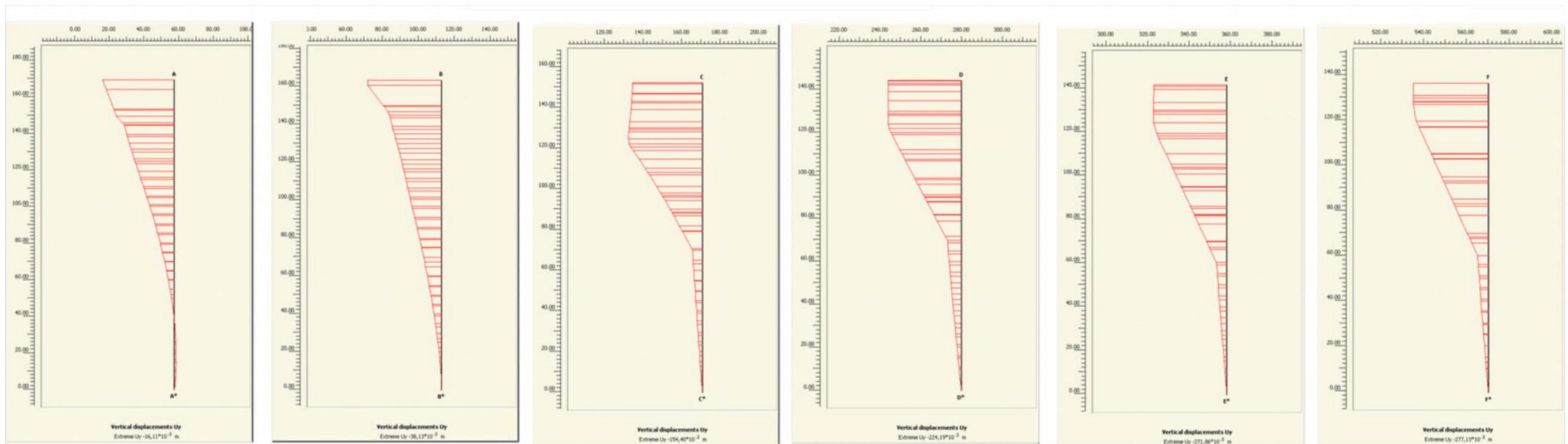
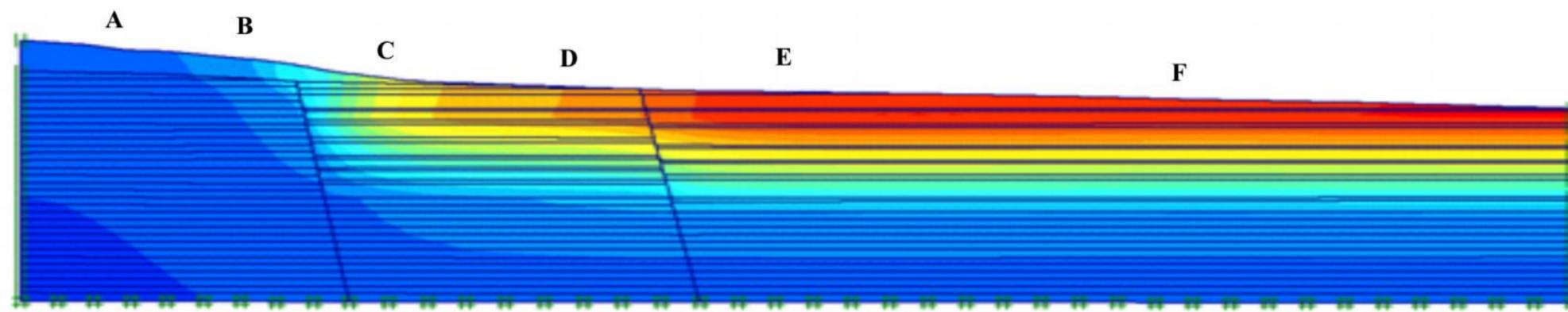
Η θέση στην οποία βρίσκεται ο οικισμός των Αναργύρων σε συνδυασμό με το γεωλογικό υπόβαθρο και την ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την εμφάνιση των εδαφικών υποχωρήσεων. Ο οικισμός των Αναργύρων είναι χτισμένος πάνω στη ζώνη διάρρηξης του ρήγματος των Αναργύρων.

Στις παραμετρικές αναλύσεις που έγιναν για την ερμηνεία των εδαφικών παραμορφώσεων των σχηματισμών στον οικισμό των Αναργύρων σε τομή κάθετη στο πραινές, ο προς στερεοποίηση σχηματισμός Περδίκια δεν εκτείνεται σε όλο το τμήμα της τομής. Οι μεταβολές ωστόσο που παρουσιάζει στο πάχος του ο συγκεκριμένος σχηματισμός είναι υπαίτιες για τις διαφορικές παραμορφώσεις στην επιφάνεια.

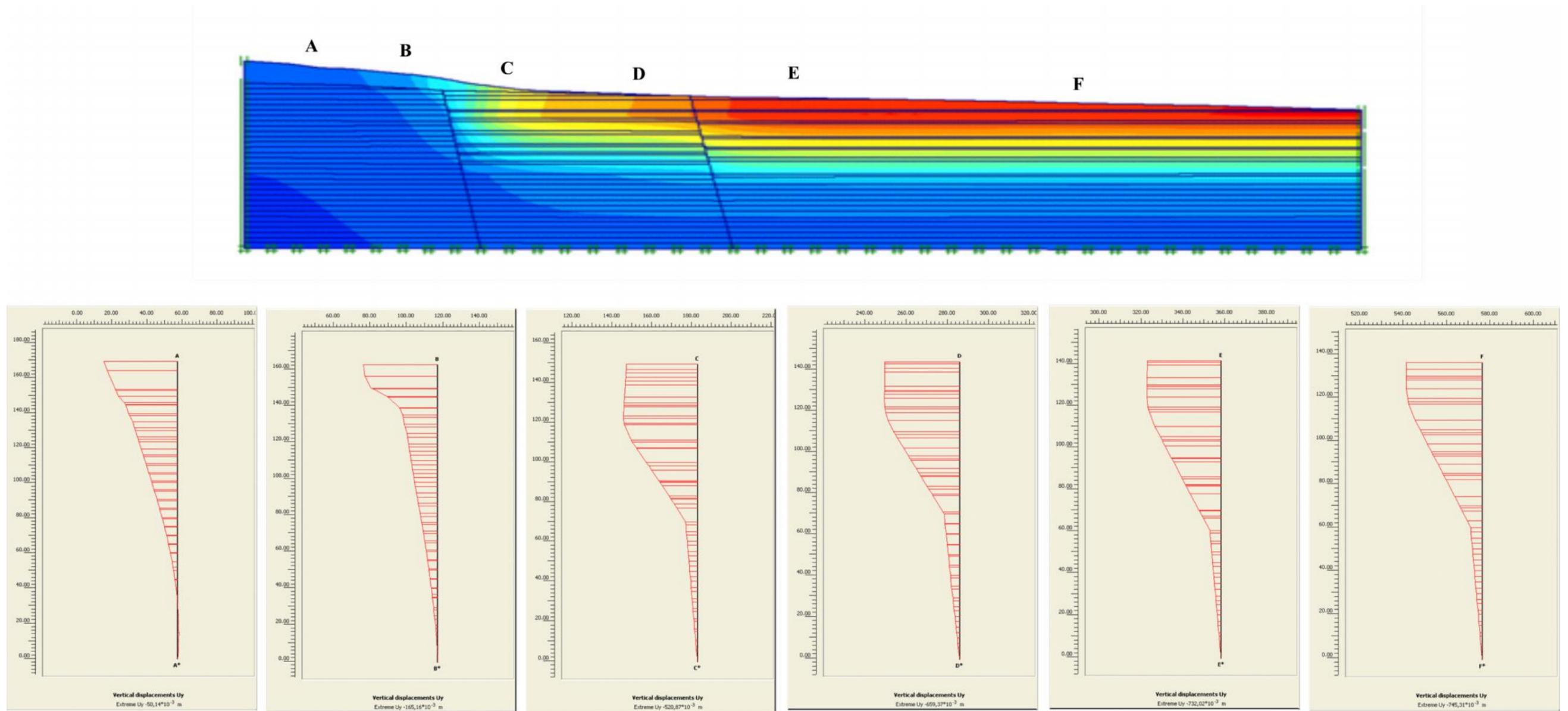
Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα κατακόρυφες μετακινήσεις εντοπίζονται δεξιά στο κομμάτι της τομής που υπάρχει ο σχηματισμός του Περδίκια, ενώ αριστερά που δεν συνεχίζεται ο σχηματισμός είναι μικρότερες.



Σχήμα 7.19: Παρουσίαση κατανομής κατακόρυφων μετακινήσεων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης $Υ.Ο. 10$ m.



Σχήμα 7.20: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές, που έγιναν στο μοντέλο προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης 10m.



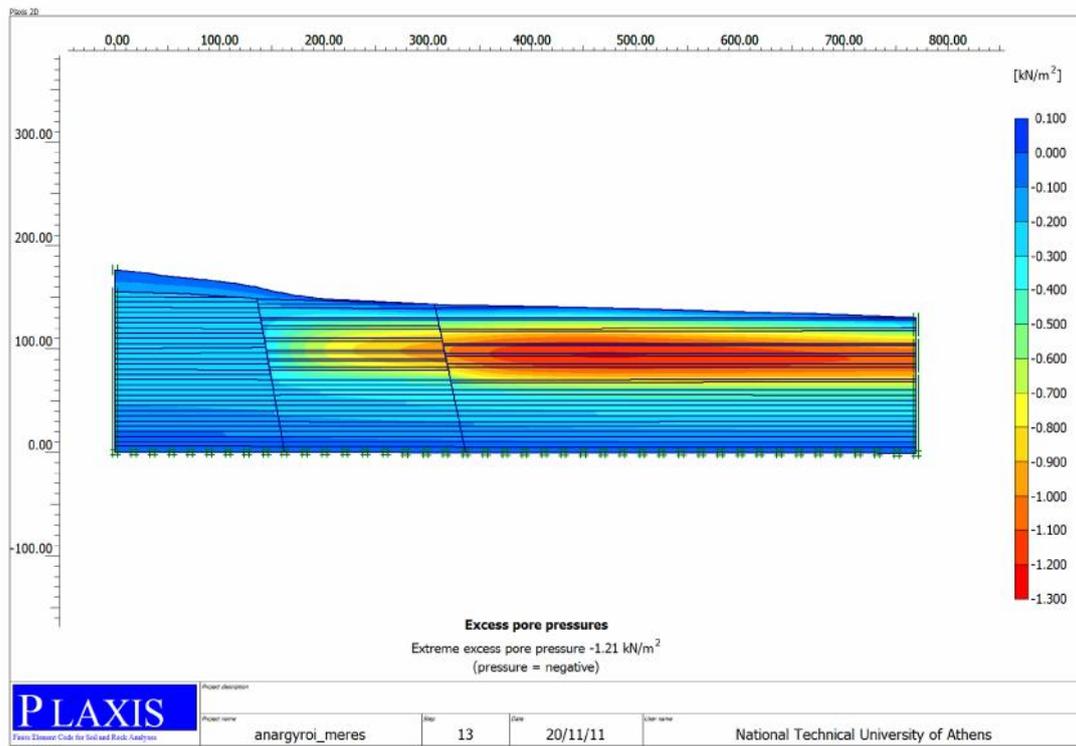
Σχήμα 7.21: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές, που έγιναν στο μοντέλο προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20 m.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των κατακόρυφων μετακινήσεων όπως προέκυψαν από τομές πάνω στο μοντέλο των Αναργύρων. Παρατηρείται ότι η ένταση των φαινομένων των μετακινήσεων είναι ανάλογη της ταπείνωσης της στάθμης. Όσο αυξάνεται η πτώση στάθμης, από 10 σε 20 m χαρακτηριστικά, διαπιστώνεται αύξηση των μετακινήσεων και ειδικότερα στο κομμάτι που συναντάται ο σχηματισμός του Περδίκια.

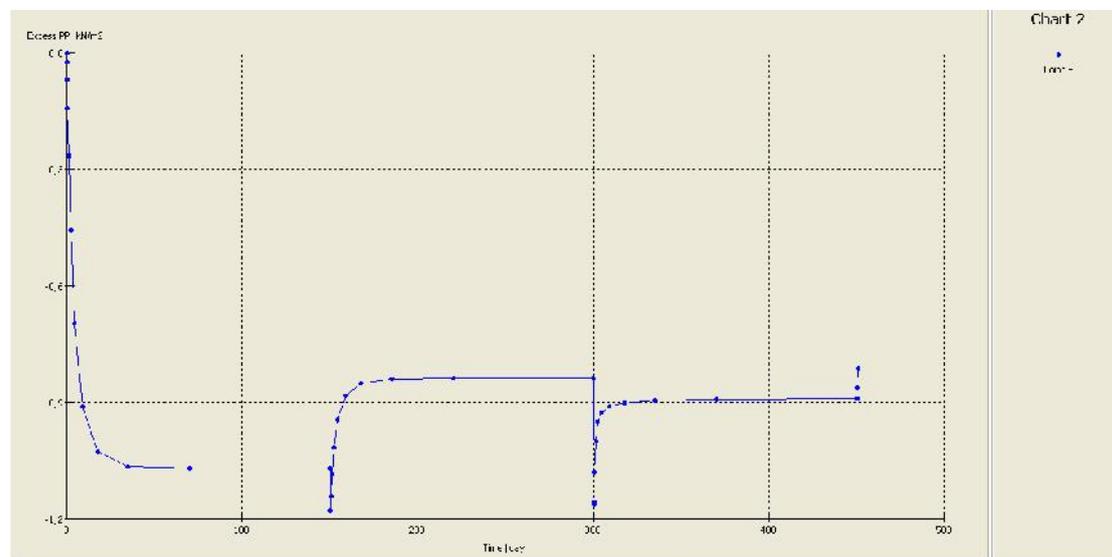
Πίνακας 7.5: Τιμές κατακόρυφων μετακινήσεων, όπως προέκυψαν από τις κατακόρυφες τομές του μοντέλου των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο 10 m και 20 m.

| Πτώση Στάθμης Υ.Ο. (m) | Κατακόρυφες Μετακινήσεις Uy (m) | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| 10 m | $16,11 \cdot 10^{-3}$ | $38,13 \cdot 10^{-3}$ | $154,40 \cdot 10^{-3}$ | $224,19 \cdot 10^{-3}$ | $271,86 \cdot 10^{-3}$ | $277,13 \cdot 10^{-3}$ |
| 20 m | $50,14 \cdot 10^{-3}$ | $165,16 \cdot 10^{-3}$ | $520,87 \cdot 10^{-3}$ | $659,37 \cdot 10^{-3}$ | $732,02 \cdot 10^{-3}$ | $745,31 \cdot 10^{-3}$ |

Όπως και στις παραμετρικές αναλύσεις με τις εναλλαγές ποσοστών των σχηματισμών έτσι και από αυτές με την τομή των Αναργύρων προέκυψαν γραφικές παραστάσεις που δείχνουν την απομείωση της υπερπίεσης νερού των πόρων με την σταδιακή πτώση της στάθμης. Από τις γραφικές παραστάσεις προκύπτει ότι η εκτόνωση της πίεσης γίνεται σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα (Σχήμα 7.23).



Σχήμα 7.22: Προβολή κατανομής υπερπίεσης νερού των πόρων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10 m.



Σχήμα 7.23: Διάγραμμα υπερπίεσης νερού των πόρων συναρτήσει του χρόνου της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία πραγματεύεται τη διερεύνηση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Αμυνταίου του νομού Φλώρινας, που γειτνιάζει με το ορυχείο Αμυνταίου. Η περιοχή έρευνας, στην οποία παρατηρείται το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων, περιλαμβάνει τους οικισμούς Αναργύρων, Βαλτόνερων, Φανού, Αετού και Πεδινού.

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Φλώρινας - Πτολεμαΐδας εντοπίζεται εντός των ορίων της Πελαγονικής ζώνης. Οι οικισμοί της περιοχής έρευνας είναι θεμελιωμένοι στις πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης, στα κροκαλοπαγή και τις χαλαρές ερυθρές πηλούς του Τεταρτογενούς. Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις που δομούν την περιοχή διακρίνονται, από τα βαθύτερα προς τα επιφανειακά στρώματα, στους σχηματισμούς Προαστίου, Περδίκας και Αναργύρων. Ο σχηματισμός που είναι πιο επιρρεπής στην εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων είναι ο σχηματισμός του Περδίκας λόγω της δομής του και των γεωτεχνικών του χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά την τεκτονική της περιοχής, μία από τις κύριες τεκτονικές γραμμές που δεσπόζουν στη δομή της περιοχής είναι το μεγάλο ρήγμα της Βεγορίτιδας. Στη συνέχεια του ρήγματος Βεγορίτιδας, με μια προς τα νοτιοανατολικά μετατόπιση εντοπίζεται το ρήγμα των Αναργύρων, το οποίο έχει την ίδια διεύθυνση παράταξης με αυτό της Βεγορίτιδας, διέρχεται μέσα από τον οικισμό των Αναργύρων.

Η περιοχή έρευνας σύμφωνα με τον τροποποιημένο Αντισεισμικό Κανονισμό ΕΑΚ-2000 ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι (χαμηλή).

Η υπεράντληση του συνόλου του υδροφόρου έχει σαν αποτέλεσμα, τη δραστική μείωση των υδροαποθεμάτων και τη σταδιακή ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας στο σύνολο της έκτασης του υδροφόρου, με αποτέλεσμα την εμφάνιση καθιζήσεων λόγω της ανακατανομής των γεωστατικών τάσεων.

Συγκρίνοντας τους ισοπιεζομετρικούς χάρτες του έτους 1992, με τους αντίστοιχους του 2011 (που σχεδιάστηκαν με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν επί τόπου κατά τον Απρίλιο του 2011), προκύπτει ότι αν και η μορφή των πιεζομετρικών καμπύλων δεν έχει εξαιρετικά σημαντικές διαφορές, εντούτοις εμφανίζεται μια πτώση στάθμης κοντά στο ορυχείο της τάξεως των 45-50 m, με ροή προς την εκσκαφή του ορυχείου.

Οι εδαφικές υποχωρήσεις εκδηλώνονται εντός των ορίων του κώνου πτώσης στάθμης που διαμορφώνεται προς το ορυχείο Αμυνταίου. Το άλμα των εδαφικών διαρρήξεων είναι ανάλογο με το μέγεθος της πτώσης στάθμης.

Εδαφικές διαρρήξεις λόγω υπεράντλησης εντοπίζονται κυρίως σε τρεις οικισμούς της περιοχής έρευνας, στους Αναργύρους, στα Βαλτόνερα και στον Φανό.

Οι μεταβολές στο πάχος του σχηματισμού Περδίκια είναι υπαίτιες για τις διαφορικές παραμορφώσεις και κατά συνέπεια για διαρρήξεις που εκδηλώνονται στην επιφάνεια. Ο σχηματισμός Προαστίου δεν δύναται να συμμετάσχει σε μηχανισμό εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων λόγω του μεγάλου βάθους στο οποίο εντοπίζεται.

Οι εδαφικές διαρρήξεις που πλήττουν τους οικισμούς έχουν διεύθυνση παράλληλη με το ρήγμα των Αναργύρων, ενώ παρατηρούνται και διαφορετικοί ρυθμοί παραμόρφωσης κατά θέσεις. Οι αστοχίες, όπως καταγράφηκαν κατά την επιτόπου παρατήρηση, πλήττουν οικίες, περιφράξεις και λοιπά κτίρια εντός των οικισμών.

Αξίζει να αναφερθεί ότι παρουσιάστηκαν μεταβολές στο ανάπτυγμα των ρωγμών που είχαν παρατηρηθεί σε προηγούμενα χρόνια. Εδαφικές διαρρήξεις παρατηρήθηκαν και στα αγροκτήματα. Ακόμη, περιμετρικά του ορυχείου εντοπίζονται αστοχίες κάθετες στις τεκτονικές γραμμές, που οφείλονται στην διαταραχή του πρανούς λόγω εκσκαφής και δεν είναι αποτέλεσμα εδαφικών υποχωρήσεων.

Για την εκτίμηση του μηχανισμού εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων λόγω υπεράντλησης υδροφόρων έγιναν διδιάστατες παραμετρικές αναλύσεις, με τη βοήθεια του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων Plaxis.

Σκοπός των αναλύσεων αυτών ήταν να αξιολογηθούν οι κατακόρυφες και συνολικές μετακινήσεις των διαφορικών εδαφικών υποχωρήσεων, καθώς και οι αναλύσεις αυτές για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών του οικισμού των Αναργύρων.

Πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές αναλύσεις σε πρώτο στάδιο έχοντας ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης, με τους εδαφικούς σχηματισμούς της περιοχής σε διάφορα ποσοστά και κατεβάζοντας την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, με σκοπό να εξεταστούν οι παραμορφώσεις στην επιφάνεια του εδάφους για τις αντίστοιχες πτώσεις στάθμης.

Εκτιμήθηκε ο τρόπος παραμόρφωσης του εδάφους σε σχέση με την πτώση στάθμης, που παρουσιάζει κάθε φορά ο υδροφόρος, αν και το μοντέλο αυτό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ερμηνεία διαφορικών υποχωρήσεων.

Η δεύτερη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διερευνηθούν οι διαφορικές παραμορφώσεις εκατέρωθεν ρηγμάτων. Οι σχηματισμοί που εισήχθησαν στις αναλύσεις αυτές ήταν ο σχηματισμός του Περδίκας και του Προαστίου. Ο σχηματισμός Περδίκας λόγω της δομής του και των μηχανικών του χαρακτηριστικών του συσχετίζεται άμεσα με τα φαινόμενα των εδαφικών υποχωρήσεων. Όσον αφορά τον σχηματισμό του Προαστίου, τα μηχανικά χαρακτηριστικά τόσο της αδρομερούς όσο και της λεπτομερούς φάσης του, δεν επιτρέπουν την εκδήλωση σημαντικών εδαφικών υποχωρήσεων λόγω της ταπείνωσης της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων.

Κατά την δεύτερη φάση των αναλύσεων, η οποία είχε ως στόχο τη διερεύνηση των διαφορικών παραμορφώσεων εκατέρωθεν ρηγμάτων, μεγαλύτερη υποχώρηση παρουσιάζει το κομμάτι δεξιά του ρήγματος, όπου επικρατεί το λεπτόκοκκο κλάσμα του σχηματισμού Περδίκας. Επίσης, σύμφωνα με τα διαγράμματα υπερπίεσης νερού των πόρων, το φαινόμενο της στερεοποίησης ολοκληρώνεται περίπου σε 40 μέρες, χρόνος σχετικά μικρός, αποδεικνύοντας επομένως τον γρήγορο ρυθμό εξέλιξης του φαινομένου.

Συγκεντρώνοντας στοιχεία για την πτώση στάθμης υδροφόρου για τα διάφορα ποσοστά σχηματισμών, αποδεικνύεται η γραμμική σχέση που έχει η ταπείνωση της στάθμης με τις διαφορικές μετακινήσεις. Για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50 m, οι διαφορικές μετακινήσεις για τα διάφορα ποσοστά σχηματισμών φτάνουν περίπου 1 m. Ωστόσο σημαντικές διαφοροποιήσεις δεν παρουσιάζονται για την ίδια πτώση στάθμης στα εκάστοτε ποσοστά σχηματισμών.

Η Τρίτη ομάδα παραμετρικών αναλύσεων αποσκοπούσε στην ερμηνεία των εδαφικών παραμορφώσεων των σχηματισμών στον οικισμό των Αναργύρων, σε τομή κάθετη στο πρανές που δομείται ο οικισμός. Στο μοντέλο αυτό οι σχηματισμοί που συναντώνται είναι ο σχηματισμός Αναργύρων, Περδίκας και Προαστίου. Στο μοντέλο αυτό προσομοίωσης η στάθμη του Υ.Ο. πέφτει μέχρι τα -20 m ανά 5 m.

Η ένταση του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων, όπως προέκυψε από τις αναλύσεις που έγιναν, είναι ανάλογη της ταπείνωσης της στάθμης του υδροφόρου.

Όπως και στις παραμετρικές αναλύσεις με τις εναλλαγές ποσοστών των σχηματισμών, έτσι και σε αυτές με την τομή των Αναργύρων κάθετα στο πρανές που εντοπίζεται ο οικισμός, παρατηρήθηκε απομείωση της πίεσης. Στην αρχή υπάρχει μια αργή απομείωση της πίεσης, η οποία στη συνέχεια γίνεται σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

Συνοψίζοντας τα προαναφερόμενα συμπεράσματα, προκύπτει ότι οι εδαφικές διαρρήξεις και οι αστοχίες των οικισμών της περιοχής έρευνας οφείλονται στις εδαφικές υποχωρήσεις που προκαλούνται από τις υπεραντλήσεις του υδροφόρου και από τον σχηματισμό κώνου πτώση στάθμης. Οι αστοχίες περιμετρικά των πρानών του ορυχείου δεν είναι αποτέλεσμα εδαφικών υποχωρήσεων, ενώ ο σχηματισμός στον οποίο παρατηρούνται κυρίως οι παραμορφώσεις είναι αυτός του Περδίκια.

8.1 Προτάσεις- Μέτρα Αντιμετώπισης του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας προτείνονται πιθανά μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου των εδαφικών υποχωρήσεων, εκτός από τις περιπτώσεις των οικισμών των Αναργύρων και των Βαλτόνερων, που λόγω της σφοδρότητας του μη αντιστρέψιμου φαινομένου, καθίσταται αδύνατη η εφαρμογή τέτοιων μέτρων. Σε αυτή την περίπτωση, ίσως η απομάκρυνση των οικισμών είναι η μόνη πιθανή λύση.

Για τους υπόλοιπους οικισμούς, στους οποίους δεν έχουν σημειωθεί ακόμα μεγάλη ταπείνωση του υδροφόρου και επομένως εμφάνιση μεγάλων υποχωρήσεων, κρίθηκε σκόπιμο να προταθούν μέτρα αντιμετώπισης και πρόληψης, που ιεραρχούνται ως ακολούθως:

- ❖ Λεπτομερής χαρτογράφηση της περιοχής έρευνας, ώστε να γίνει συσχέτιση της χωρικής κατανομής των αστοχιών με τους κύριους άξονες τεκτονικών διαρρήξεων.
- ❖ Γεωτεχνική μελέτη της συμπεριφοράς των σχηματισμών της λεκάνης με ανάλυση δειγμάτων.
- ❖ Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής, με λεπτομερή απογραφή γεωτρήσεων για την πραγματοποίηση σταθμημετρήσεων και την κατασκευή νέων ισοπιεζομετρικών χαρτών. Με τις μετρήσεις αυτές και την κατασκευή των ισοπιεζομετρικών χαρτών θα μπορέσει να προσδιοριστεί η πτώση στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης αυτής υδρογεωλογικής μελέτης, θα πρέπει να γίνει και καταγραφή της κατανάλωσης, που γίνεται στην περιοχή.
- ❖ Τοποθέτηση δικτύου τοπογραφικών σταθμών GPS, για την μελέτη των εδαφικών μετακινήσεων.
- ❖ Συχνή επιθεώρηση του οδικού δικτύου, για εμφάνιση νέων εδαφικών υποχωρήσεων και έλεγχο αυτών που ήδη έχουν παρουσιαστεί. Η συχνή κυκλοφορία

οχημάτων μεγάλου βάρους επιβαρύνει το οδικό δίκτυο, ενώ η ύπαρξη άλματος στο δρόμο από εδαφικές υποχωρήσεις μπορεί να γίνει αιτία πρόκλησης ζημιών και ατυχημάτων.

❖ Περιορισμός άντλησης του νερού, από τους κύριους χρήστες του νερού της λεκάνης (αγρότες και ορυχείο), καθώς και περιορισμός των αντλήσεων σε περιόδους αιχμής. Επίσης προτείνεται η επαναπόδοση του νερού που αντλείται από το ορυχείο στην υδρογεωλογική λεκάνη μέσω δικτύου, καθώς και τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων από την επιφάνεια της γης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης Α. (2008). Πανίδα ιχθύων και αμφιβίων των υγροτόπων Μακεδονίας - Θράκης και παράγοντες που την επηρεάζουν. Μεταπτυχιακή διατριβή, Θεσσαλονίκη 2008
2. Αγγελίτσα Μαρία-Παναγιώτα (2009). Βελτίωση μαλακών εδαφικών σχηματισμών για τη θεμελίωση επιχώματος της γραμμής του ΟΣΕ στην περιοχή της Ξυνιάδας Φθιώτιδας». Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.
3. Andronopoulos, V.- Rozos, D.- Hatzinakos, I. 1990. Geotechnical study of ground settlement in the Kalochori area, Thessaloniki District. Report. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens, 45.
4. Andronopoulos, V.- Rozos, D.- Hatzinakos, I. (1991). Subsidence phenomena in the area of Kalohori, Greece. Land subsidence, IAHS Publ. Publications, 200, 59–69.
5. Arizona Land Subsidence Group (2007): Land subsidence and earth fissures in Arizona. Research and Information needs for effective Risk Management. Contributed Report CR-07-C, Arizona Geological Survey.
6. Asian Institute of Technology (AIT), 1981. Investigation of land subsidence caused by deep well pumping in the Bangkok area, Research Report, vol. 91. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand 1981.
7. Barends F.B.J., Brouwer F.J.J., Schroder F.H. (1995). Land Subsidence. Natural causes, Measuring Techniques, The Groningen Gasfields, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam 1995.
8. Βουδούρης Κ., Μάππας Χρ., Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής του δ.δ. Μαυροπηγής του δ. Πτολεμαΐδας, Εξαμηνιαία Έκθεση. Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2011.
9. Brunn J.H., (1956), Contribution a l' etude geologique du Pinde septentrional et de la Macedoine occidentale. Ann. Geol. Pays Hell., 7, pp. 1-358.
10. Γεωργόπουλος, Γ.Δ. (1993). Ανίχνευση καθιζήσεων και προσδιορισμός του πεδίου τους στην περιοχή του Μοσχάτου, Πυρφόρος, τ. 10.
11. Carpenter, M. C. (1999). Part I: South-Central Arizona. In D. Galloway, D. R. Jones, & S. E. Ingebritsen (Eds.), Land subsidence in the United States (Circular No. 1182, pp. 65-78). Reston, VA: U.S. Geological Survey

12. Changjiang Li, Xiaoming Tang, Tuhua Ma (2006). Land subsidence caused by groundwater exploitation in the Hangzhoo-Jiaxing-Huzhou Plain, China, Hydrogeology Journal 14: 1652-1665.
13. Γ.Υ.Σ. (1981), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3283.2, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
14. Γ.Υ.Σ. (1981), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3284.3, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
15. Γ.Υ.Σ. (1981), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3283.4, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
16. Γ.Υ.Σ. (1983), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3283.6, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
17. Γ.Υ.Σ. (1983), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3283.8, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
18. Γ.Υ.Σ. (1981), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3284.5, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
19. Γ.Υ.Σ. (1982), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3284.7, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
20. Γ.Υ.Σ. (1982), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3293.2, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
21. Γ.Υ.Σ. (1983), Τοπογραφικό διάγραμμα, αριθμός φύλλου 3294.1, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:5.000), εκδόσεις Γ.Υ.Στρατού
22. Δημητρακόπουλος (2001): Υδρογεωλογικές συνθήκες Ορυχείου Αμυνταίου. Προβλήματα κατά την εκμετάλλευση και αντιμετώπισή τους. Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2001.
23. Δημητρακόπουλος Δ., Γρηγοράκου Ε. (2010). Χρήση της μαθηματικής προσομοίωσης στο σχεδιασμό της αποστράγγισης του Νότιου Λιγνιτικού Πεδίου της λεκάνης Πτολεμαΐδας, Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, Τόμος 20, Ιαν. - Δεκ. 2010.
24. Duncan J. Michael, Wright Stephen G. (2005). Soil Strength and Slope Stability, John Wiley & Sons, INC., New Jersey 2005.
25. Θεοδωρή Ν., Καϊμάκης Β. 2002. Η λίμνη Πετρών. Πτυχιακή διατριβή. Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2002.

26. Hatzinakos I., Rozos D. & Apostolidis E. 1990. Engineering geological mapping and related geotechnical problems in the wider industrial area of Thessaloniki, Greece. In: Price D. ,(ed.) Proceedings of Sixth International IAEG Congress. Balkema, Rotterdam, 127–134.
27. Holzer T.(1988). State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. *Engineering Geology*, 27 (1989) 449-466.
28. Hua R.L., Yueb Z.Q., Wanga L.C, Wanga S.J. (2004). Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Engineering Geology* 76 (2004) 65– 77.
29. Ι.Γ.Μ.Ε., (1997), Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (κλίμακα 1:50.000), εκδόσεις ΙΓΜΕ
30. Jacob CE (1939): Fluctuations in artesian pressure produced by passing railroad trains as shown in a well on Long Island, New York. *Trans Am Geophys. Union* 20: 666–674.
31. Jichun Wu, Xiaoqing Shi, Yuqun Xue, Yun Zhang, Zixin Wei, Jun Yu (2008). The development and control of the land subsidence in the Yangtze Delta, China, *Environmental Geology* 55: 1725-1735.
32. Καλλέργης, Γ. (2001). Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Γ', Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα.
33. Keller and Blodgett (2006). *Natural Hazards*, Pentice Hall.
34. Κίλιας Α., (1980). Γεωλογική και τεκτονική μελέτη της περιοχής του Ανατολικού Βαρνούντα (ΒΔ Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Θεσ/νίκης, 271 σελ.
35. Kiliyas A., Mountrakis D., (1981), Das profil von Kaimaktsalan bis Kleinen Prespa see. Die kristallinen systeme des Varnous und des W. Kaimaktsalans (NW Makedonien) (Beitrag zur Geologie des Inneren Helleniden). *Sci. Ann. Fac. Phys. Math. Univ. Thessaloniki*, 21, pp. 95-110.
36. Κοκκινάκης, Κ.Α., Ν. Μιξαφέντης και Ν, Παπαγεωργίου. 2003. Επίδραση των μεταβολών του φυσικού περιβάλλοντος στην αλιευτική παραγωγή των λιμνών της δυτικής Μακεδονίας. 11ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο: Δασική πολιτική-πρεμνοφυή δάση-προστασία φυσικού περιβάλλοντος. Αθήνα. Σελ 447- 460.
37. Κούκα Δ. (2010). Γεωτεχνική μελέτη γέφυρας κεντρικής τάφρου Αναργύρων Δήμου Αετού. Αδημοσίευτη γεωτεχνική μελέτη, Θεσσαλονίκη 2010

38. Κούκουζας Κ., Κώτης Θ., Πλουμίδης Μ., Μεταξάς Α., (1979), Γεωλογική – Κοιτασματολογική Μελέτη Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αναργύρων – Αμυνταίου. Κοιτασματολογικές Έρευνες Νο 9, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
39. Κούκουζας Κ., Κώτης Θ., Πλουμίδη Μ., Μεταξά Α., (1981) Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτοφόρου πεδίου ``Αποφύσεως`` περιοχής Αναργύρων – Αμυνταίου. Έρευνες Ενεργειακών Πρώτων Υλών Αρ. Νο. 1, ΙΓΜΕ, Αθήνα
40. Κουμαντάκης, Ι.- Δημητρακόπουλος, Δ. (1995). Δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων στην επιφάνεια από ενεργοποίηση καλυμμένου καρστ λόγω μεγάλης πτώσης στάθμης οφειλόμενης σε υπεραντλήσεις για προστασία ορυχείου και σε ξηρασία, 3^ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Ηράκλειο Κρήτης.
41. Koumantakis, I.- Rozos, D.- Markantonis, K. (2008). Ground subsidence in Thermaikos municipality of Thessaloniki county, Greece, GroPro International Conference ATV jord og Grundvand, Klarskovgaard.
42. Leake, S. A., 2002 Land Subsidence From Ground-Water Pumping, U.S. Geological Survey Report
43. Londquist C., Hydrogeology and land subsidence, Antelope Valley, California. U.S. Geological Survey Open-File Report 94-532, California 1993.
44. Λουπασάκης Κ., (2006). Μελέτη γεωτεχνικών συνθηκών των πρηνών του ορυχείου πεδίου Αμυνταίου στα όρια του δ.δ. Αναργύρων του δ. Αετού, ν.Φλώρινας, Απρίλιος 2006
45. Loupasakis C., Rozos D., (2009). Finite-element simulation of land subsidence induced by water pumping in Kalochori village, Greece. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 42, 369–382, Geological Society of London (2009).
46. Manual Plaxis : Plaxis 2D Professional Version 8
47. Mercier J., (1968), Etude geologique des zones Internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece). Contribution a l' etude du metamorphisme ett de l' evolution magmatique des zones internes des Hellenides. Theses, Paris 1966, Ann. Geol. Pays Hell., 20, pp. 1-792.
48. Morton A. Robert, Bernier C. Julie, Barras A. John (2006). Evidence of regional subsidence and associated interior wetland loss induced by hydrocarbon production, Gulf Coast region, USA, Environmental Geology 50: 261-274.

49. Μουντράκης Δ., (1976), Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας του βορείου ορίου των ζωνών Αξιού και Πελαγονικής εις την περιοχήν Κ. Λουτρακίου - Όρμας (Αλμωπίας). Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Θεσ/νίκης, 164 σελ.
50. Μουντράκης Δ., Σούλιος Γ. (1978), Περί μιας επωθημένης σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφειολίθους και της παρουσίας οφειολιθικών μιγμάτων στην περιοχή της Άρνισσας. Η σημασία αυτών για την τεκτο-ορογενετική εξέλιξη της Πελαγονικής ζώνης. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., XIII/2, σελ. 18-33.
51. Mountrakis D., (1979), Resultats preliminaires de l' etude stratigraphique de la region de Kastoria (NW Macedoine, Grece). Sci. Ann. Fac. Phys. Math., Univ. Thessaloniki, 19, pp. 163-173.
52. Μουντράκης Δ., (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υψηγεσία, Παν/μιο Θεσ/νίκης, 289 σελ.
53. Mountrakis D., (1984), Structural evolution of the Pelagonian zone in Northwestern Macedonia. Journal of Geol. Society, sp. Publ., 17, pp. 581-590.
54. Μουντράκης Δ., (1985), Γεωλογία της Ελλάδος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ.207.
55. Ναγκούλης Α., Λουπασάκης Κ., (1998), Υδρογεωλογική Μελέτη – Μελέτη Ισοζυγίου Λεκάνης Ανθεμούντα Ν. Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, σελ. 101.
56. Narasimhan TN, Kanehiro BY, Witherspoon A (1984): Interpretation of earth tides response to three deep, confined aquifers. Journal Geophys. Res. 89 B3, 1913–1924.
57. Ο.Α.Σ.Π., (2001), Ε.Α.Κ, 2000 - Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, Αθήνα.
58. Papazachos B.C.,(1988), The seismic zones in the Aegean and surrounding area. Europ. Seism. Com. Xxi Gen. Assem., pp. 1-6.
59. Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ., (1989), Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 356.
60. Papazachos B.C. and Papaioannou Ch.P, (1997), Seismic hazard in Greece based on new seismotectonic data. IASPEI 29th General Assembly, Thessaloniki, 294.

61. Papazachos C.B., (1999), An alternative method for a reliable estimation of seismicity with an application in Greece and surrounding area. Bull. Seism. Soc. Am., 89, 111-119.
62. Parker, G.G., Springfield, V.T. (1950): Effects of earthquakes, rains, tides, winds, and atmospheric pressure changes on the water in geological information of southern Florida. Econ Geology 45, 441–460.
63. Παυλίδης Σ. (1985) Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, Αριστ. Παν/μιο Θεσ/νίκης, σελ. 265.
64. Phien-wej N., Giao P.H., P. Nutalaya.School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, December 2005.
65. Poland JF, Davis GH (1956): Subsidence of the land surface in Tulare-Wasco and Los Banos-Kettleman City area, San Joaquin Valley California. Trans Am Geophys. Union 37, 287–296.
66. Ρόζος, Δ. (2007). Εγχειρίδιο Τεχνικής Γεωλογίας Ι, Κατολισθήσεις- Εδαφικές υποχωρήσεις- Καθιζήσεις, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας- Υδρογεωλογίας, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, ΕΜΠ, Αθήνα.
67. Rozos D. & Hatzinakos I. 1993. Geological conditions and geomechanical behaviour of the Neogene sediments in the area west of Thessaloniki (Greece). In: Anagnostopoulos A., (ed.) Proceedings of International Symposium on Geotechnical Engineering of Hard Soils–Soft Rocks, Greece, 1.Balkema, Rotterdam, 269–274.
68. Σίδερη Δ., (2008). Υδρογεωλογικό καθεστώς περιοχής Σταυρού –Φαρσάλων Δυτικής Θεσσαλίας, με έμφαση στις εδαφικές υποχωρήσεις λόγω υπεραντλήσεων. Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2008.
69. Σούλιος, Γ. (1980). Καθιζήσεις προσχωσιγενών εδαφών λόγω αντλήσεως υποκειμένων υδροφόρων. Παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο, Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 4/1980, σελ. 205-210, Αθήνα.
70. Soulios, G. (1997). Subsidence de terrains alluviaux dans le sud-est de la plaine de Thessalie.
71. Σούλιος, Γ. (Επιστημονικός Υπεύθυνος) και ομάδα ερευνητών (2010): Μελέτη διερεύνησης των αιτιών που προκαλούν ρήγματα στην περιοχή Αναργύρων, Νομού Φλώρινας. Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.

72. Στάμου Α., (2001), Υδρογεωλογική μελέτη του προσχωματικού υδροφόρου Σαριγκιόλ ή Νοτίου Πεδίου Κοζάνης, Δημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ.
73. Στάμου Α., (2001), Ποιοτικός έλεγχος και υδρογεωλογικές μελέτες αξιοποίησης των υδατικών πόρων δυτικής Μακεδονίας, Δημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ.
74. Sun, H., Grandstaff, D., Shagam, R. (1999): Land subsidence due to groundwater withdrawal: potential damage of subsidence and sea level rise in southern New Jersey, USA. *Environmental Geology* 37 (4), Springer-Verlag
75. Τζέλος Γ., Τριανταφύλλου Γ., Κυριακίδης Α. (1992). Έκθεση αναγνώρισης, Στεγάνωση περιφερειακού αναχώματος λίμνης Χειμαδίτιδας, ΔΕΗ/ ΛΚΠ-Α.
76. Τσιούρης Σ. (Υπεύθυνος Σύνταξης). 1996. Ειδικό Διαχειριστικό Σχέδιο για την Περιοχή Λίμνες Χειμαδίτιδα-Ζάζαρη (GR 1340005). Μουσείο Γουλιανδρή Φυσικής Ιστορίας – Ελληνικό Κέντρο Υγροτόπων Βιοτόπων Υγροτόπων και Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θέρμη.
77. Τσούρλος Π. (2007). Διερεύνηση και προτάσεις για το πρόβλημα που δημιούργησε το ρήγμα που εμφανίστηκε στα δ.δ. Φανού και Ξυνού Νερού, Θεσσαλονική 2007.
78. Xiaoqing Shi, Yuqun Xue, Jichun Wu, Shujun Ye, Yun Zhang, Zixin Wei, Jun Yu (2007). Characterization of regional land subsidence in Yangtze Delta, China: the example of Su-Xi-Chang area and the city of Shanghai, *Hydro geological Journal* 16: 593-607.
79. Wilson, A.M., Gorelick, S. (1996): The effects of pulsed pumping on land subsidence in the Santa Clara Valley, California. *Journal of Hydrology* 174, 375–396.
80. Voigt R. (1997). Mine water handing at the proposed Thach Khe Iron Ore Mine, Vietnam. *Brankohle, Surface mining*.

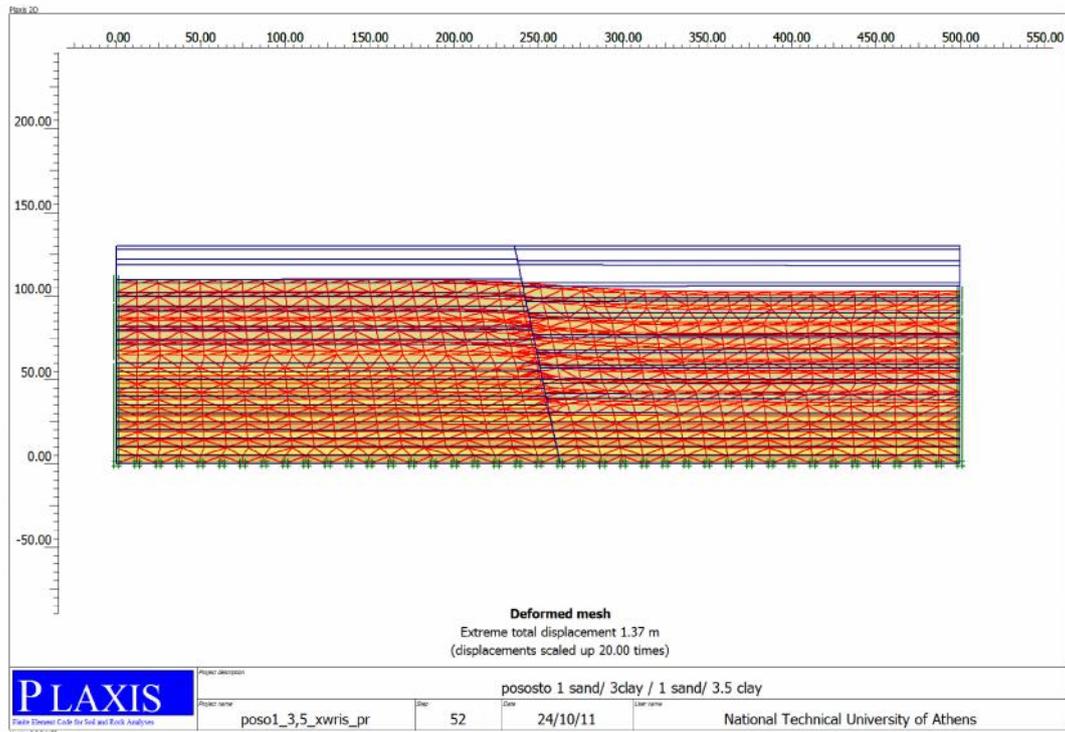
Διαδίκτυο

1. http://www.valtonero.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=106&lang=el
2. http://exomatiakavlepo.blogspot.com/2010/01/blog-post_5764.html
3. <http://www.ana.gr/>
4. http://iahs.info/redbooks/a151/iahs_151_0507.pdf
5. http://iahs.info/redbooks/a151/iahs_151_0435.pdf
6. <http://postgra.hydro.ntua.gr/docs/lessons/5/koumantakis/sinking.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

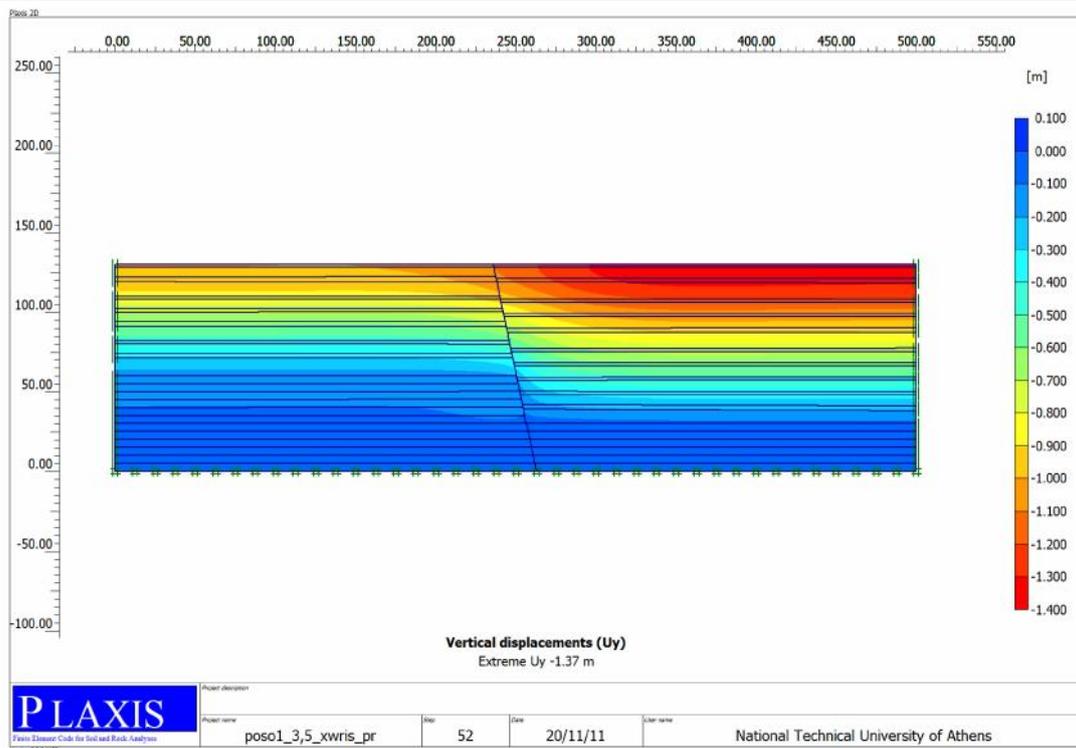
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ.

- ❖ Παραμετρικές αναλύσεις για την διερεύνηση των διαφορικών παραμορφώσεων εκατέρωθεν ρήγματος, με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώσεις στάθμης Υ.Ο. 20 και 50 m.

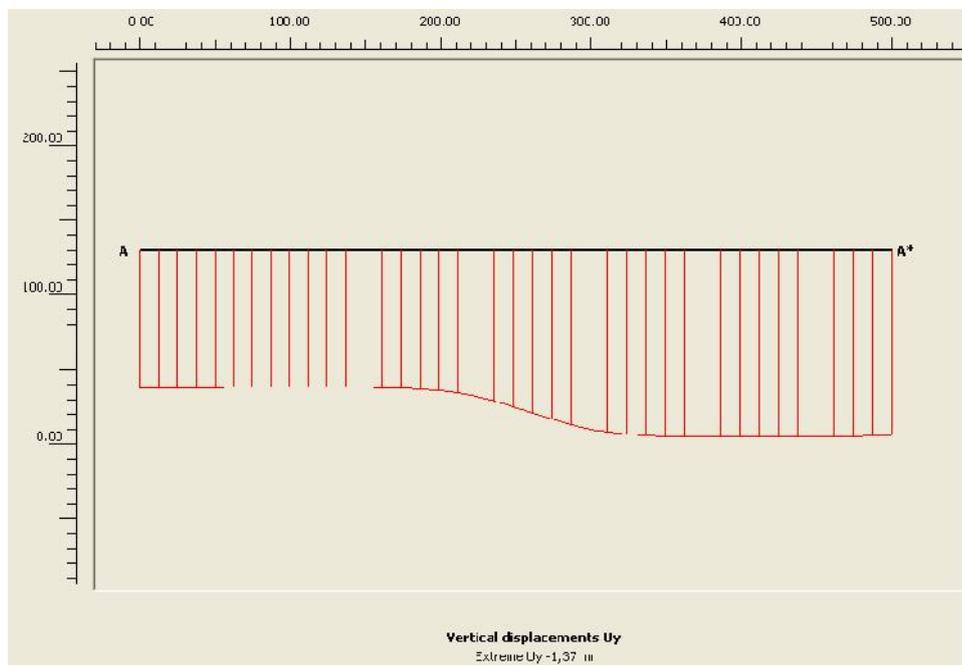


Σχήμα Α.1: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

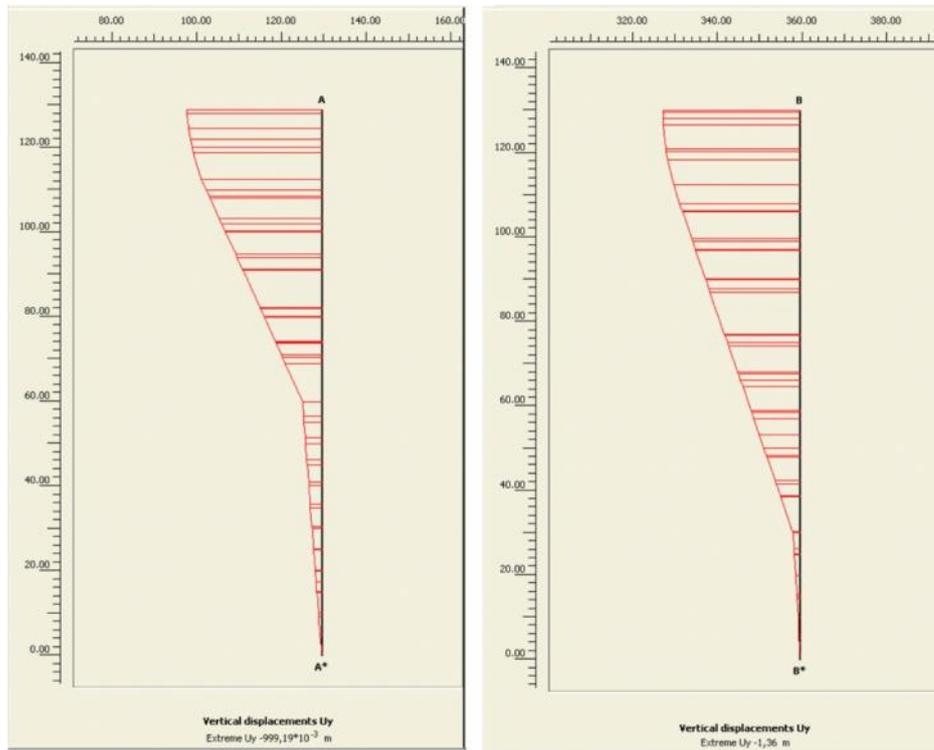
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



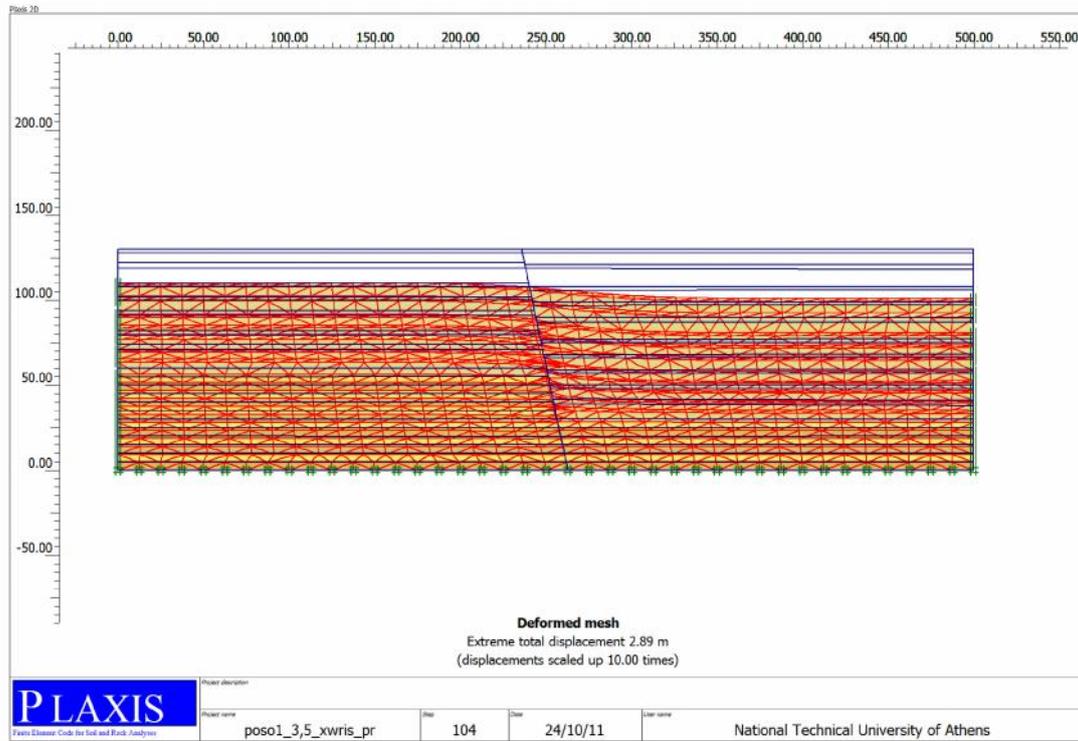
Σχήμα Α.2: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



Σχήμα Α.3: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

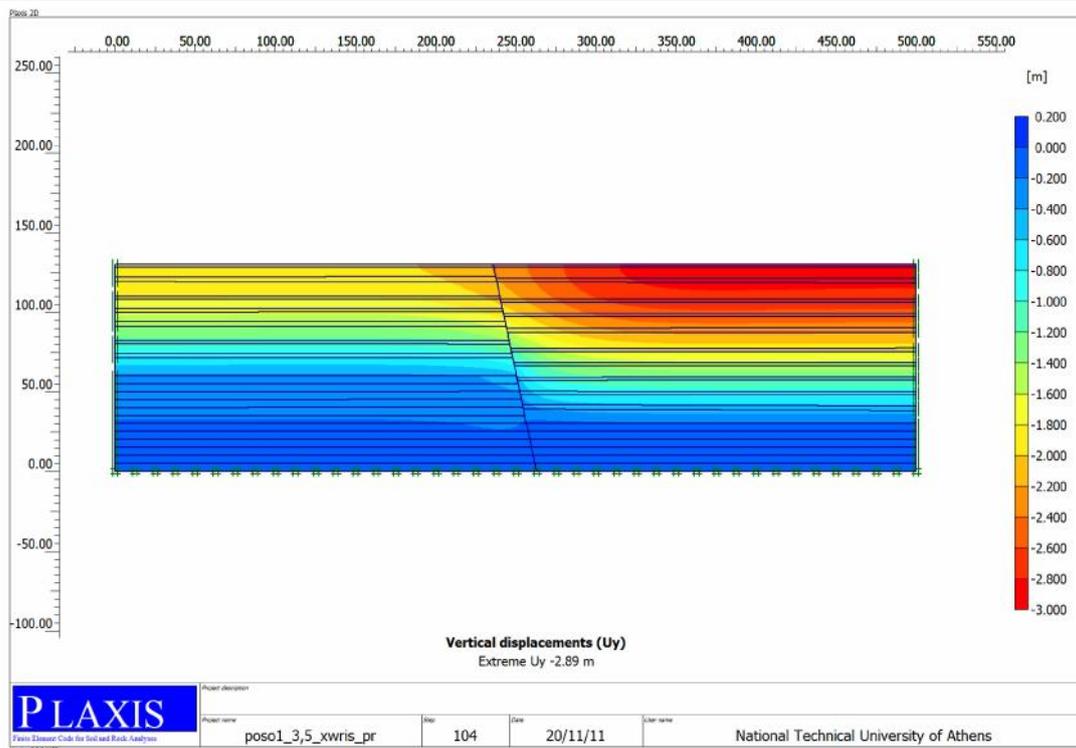


Σχήμα Α.4: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

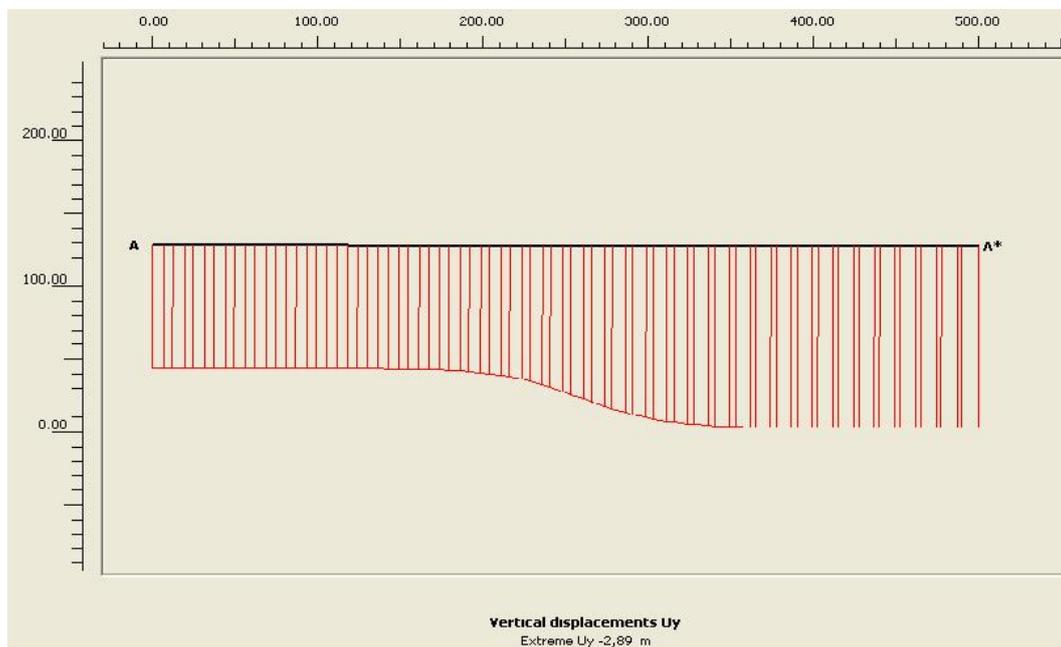


Σχήμα Α.5: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

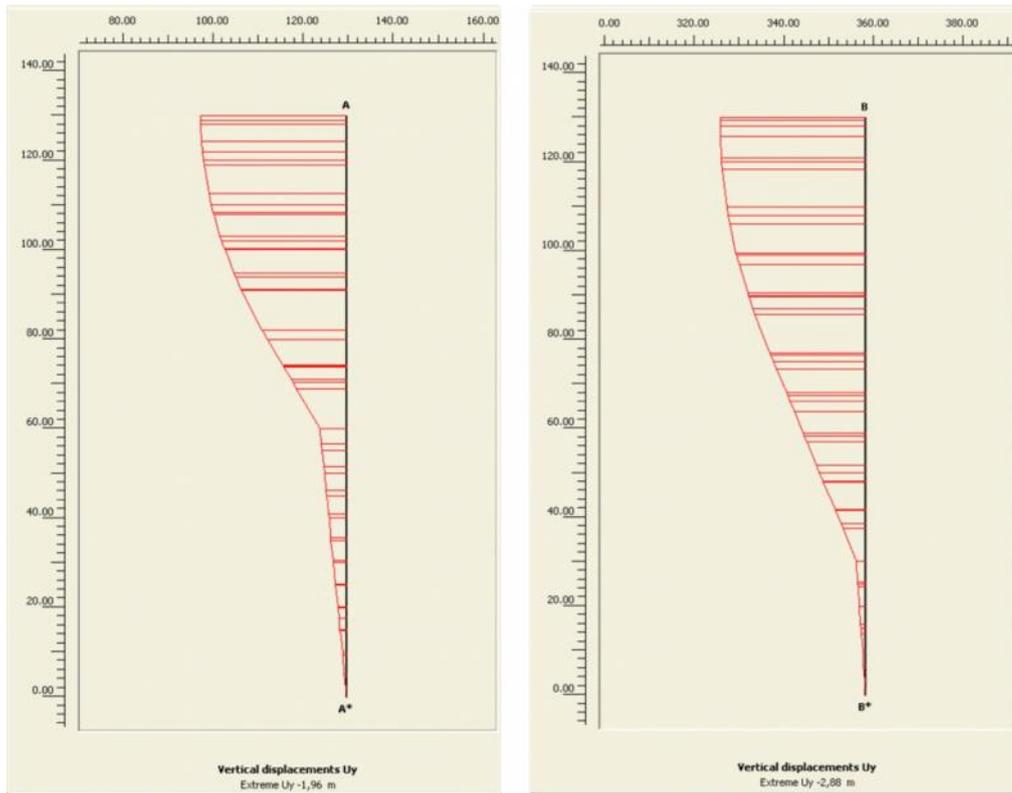
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Σχήμα Α.6: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.



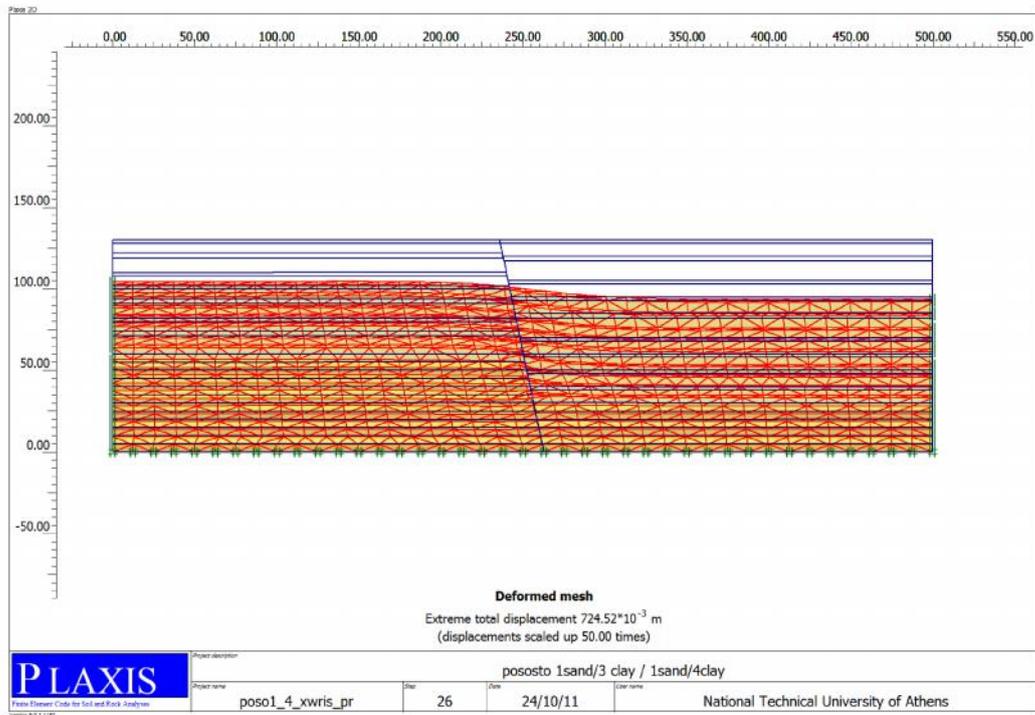
Σχήμα Α.7: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.



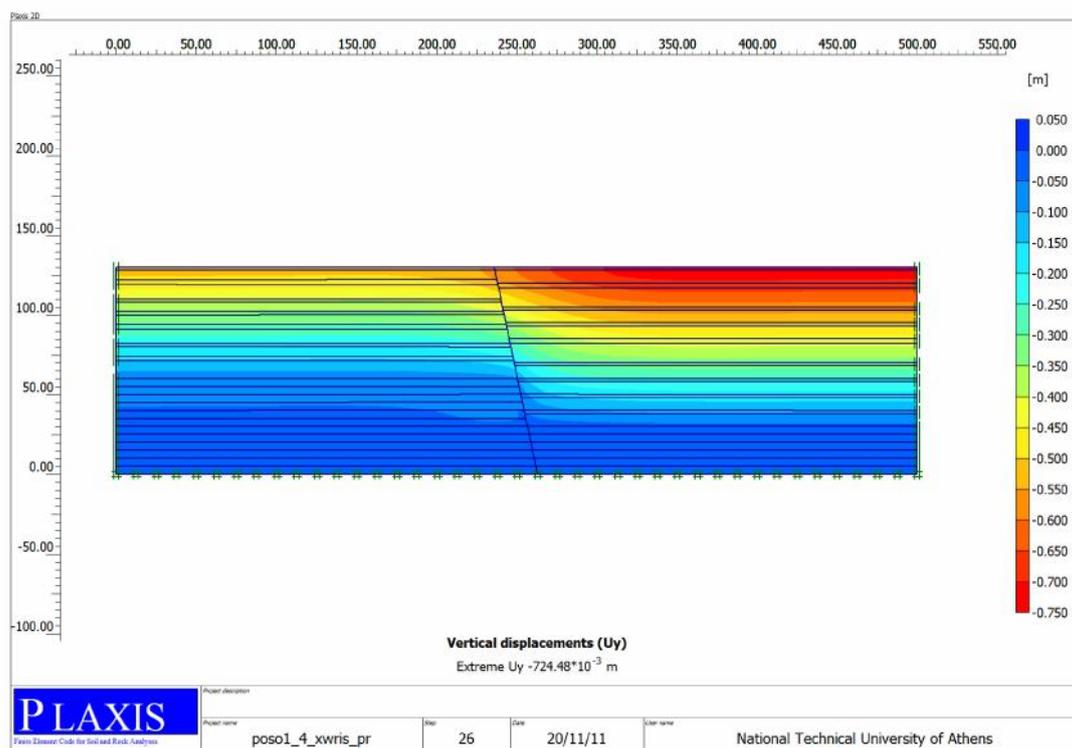
Σχήμα Α.8: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:3.5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης $Υ.Ο.$ 50m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

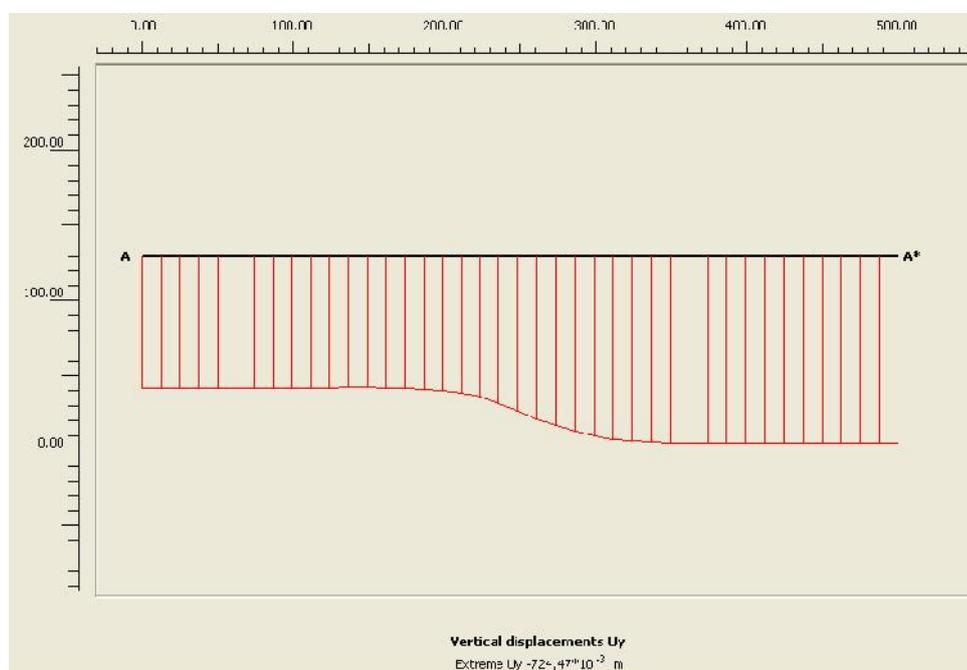
- ❖ Παραμετρικές αναλύσεις για την διερεύνηση των διαφορικών παραμορφώσεων εκατέρωθεν ρήγματος, με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώσεις στάθμης Υ.Ο. 10, 20 και 50 m.



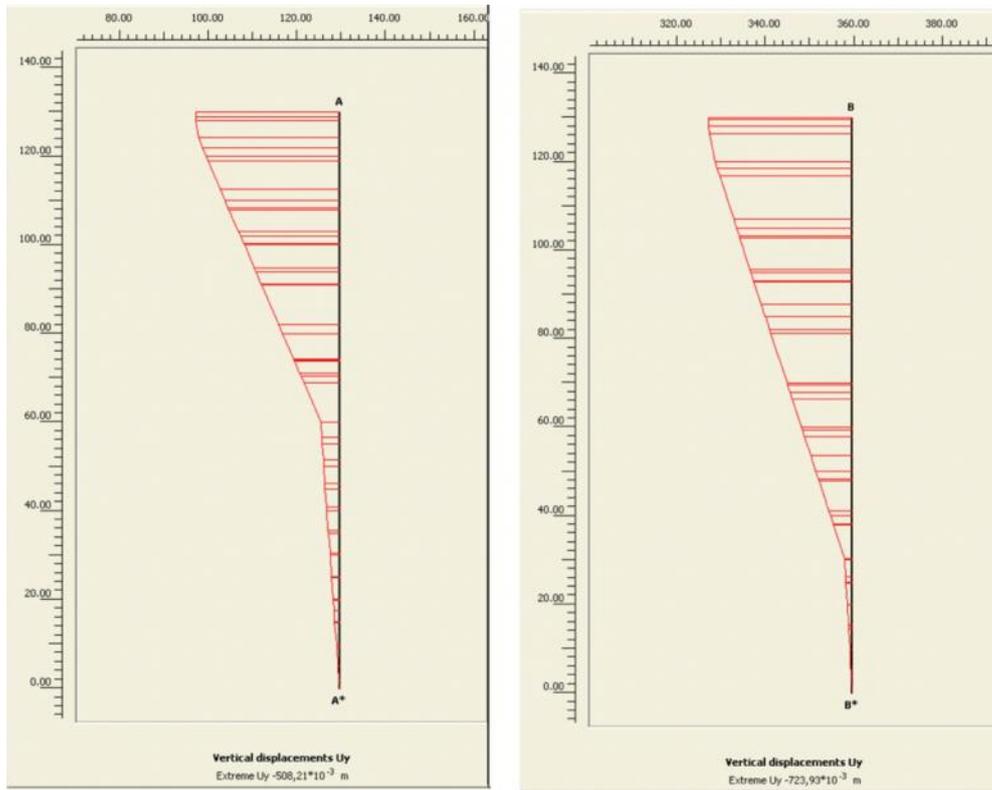
Σχήμα Α.9: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.



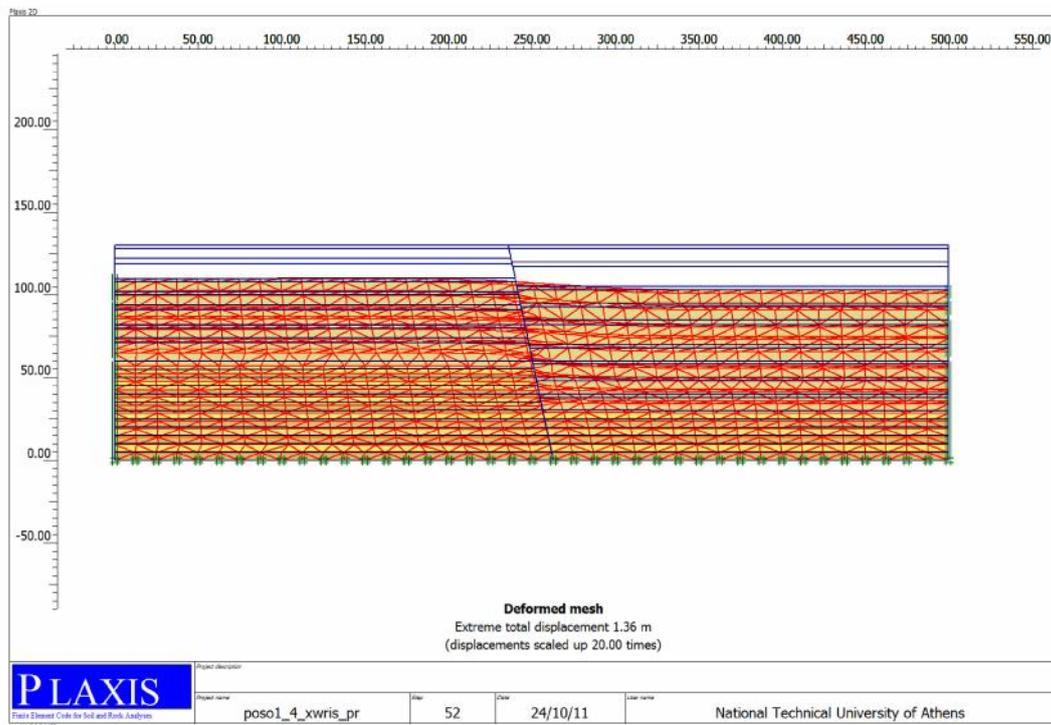
Σχήμα Α.10: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.



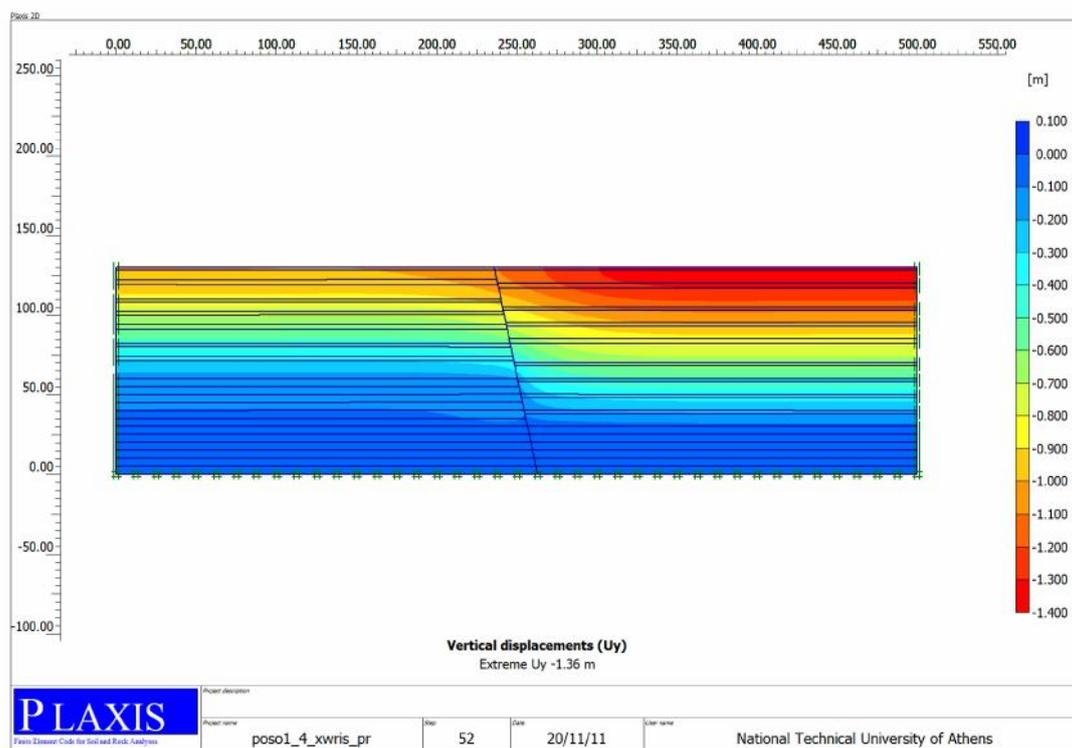
Σχήμα Α.11: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.



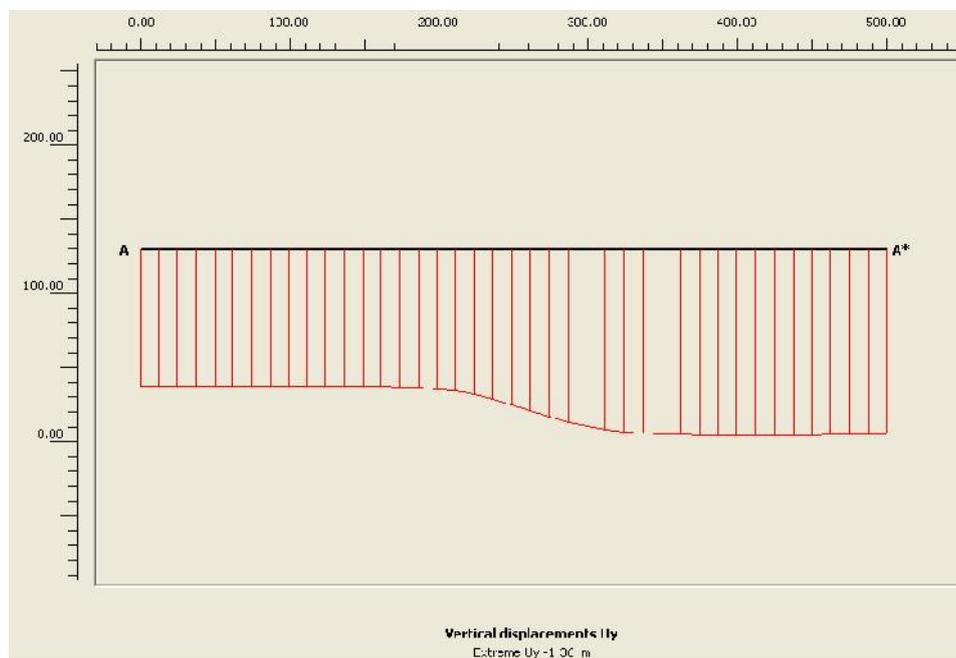
Σχήμα Α.12: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.



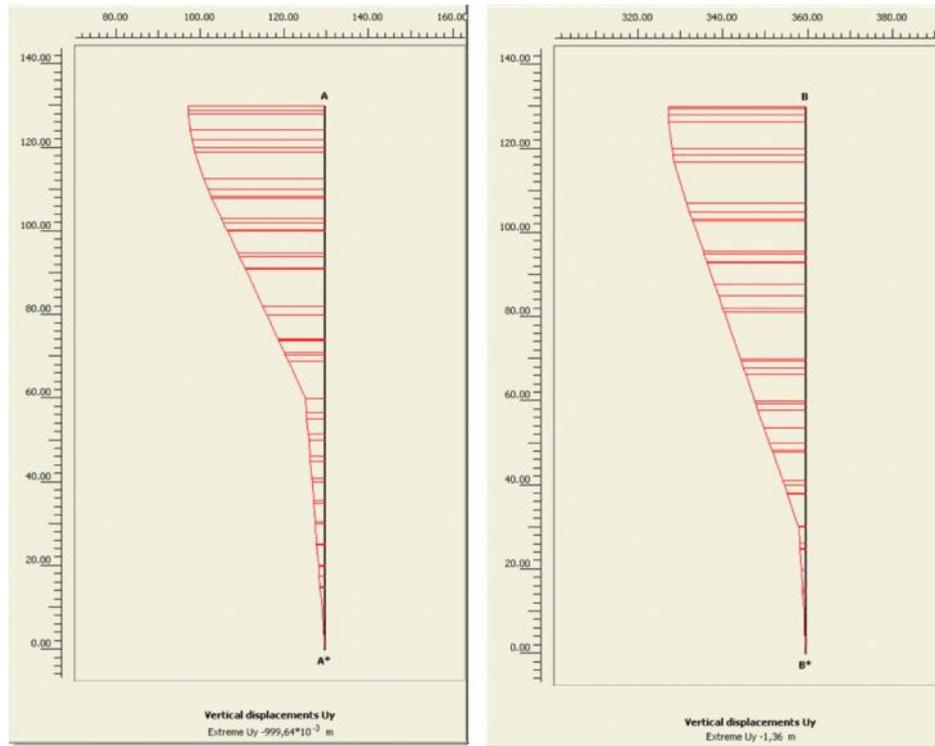
Σχήμα Α.13: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



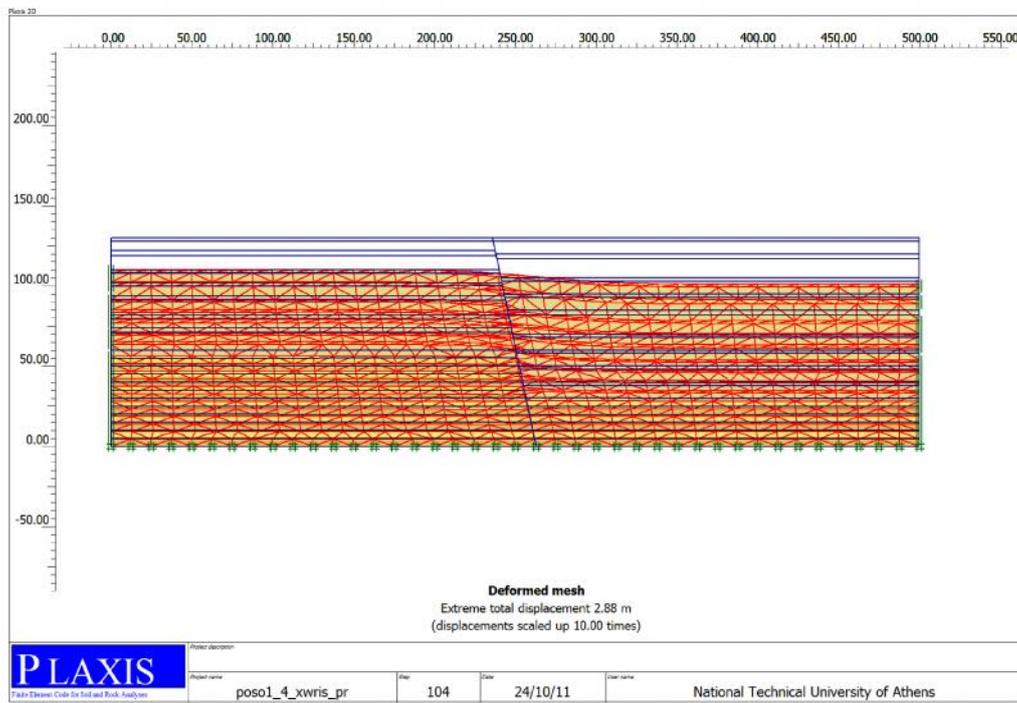
Σχήμα Α.14: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



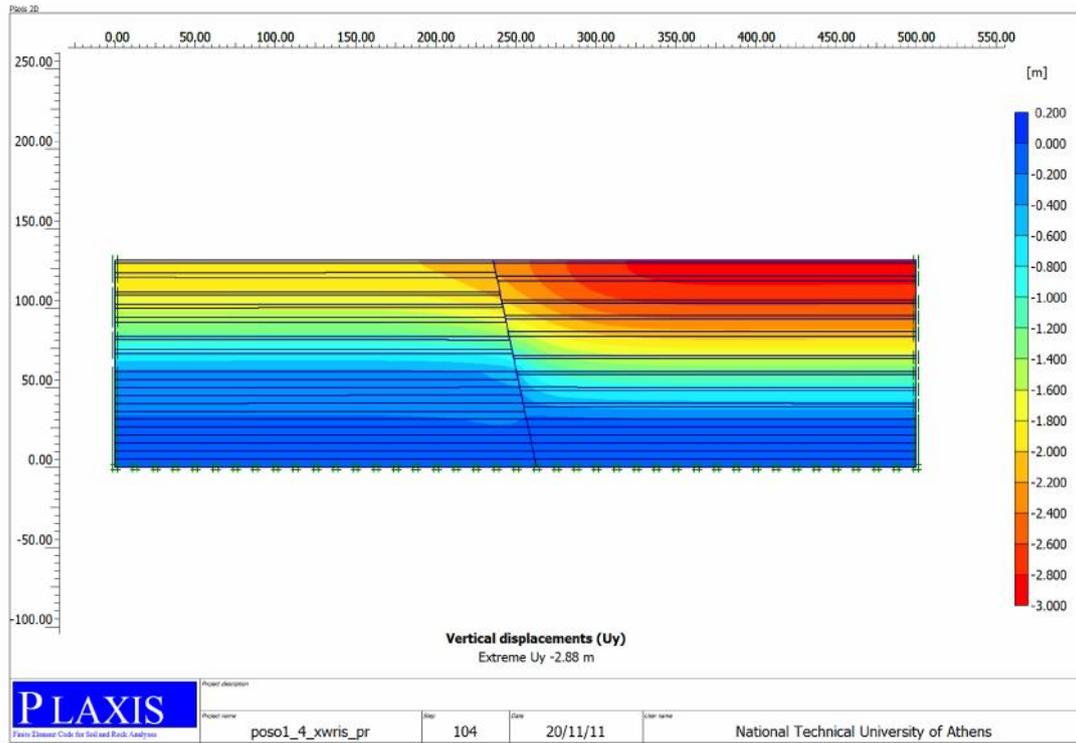
Σχήμα Α.15: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



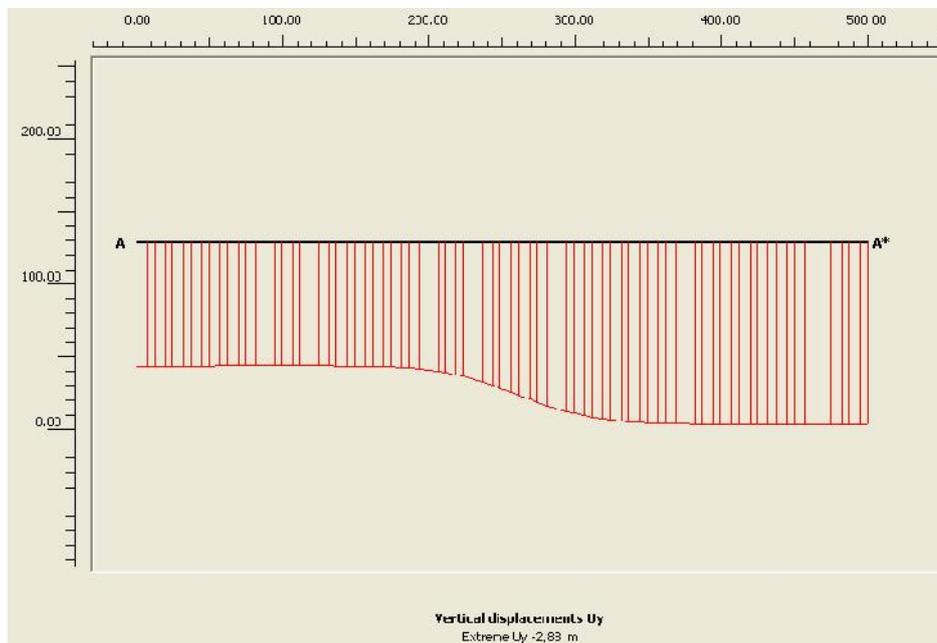
Σχήμα A.16: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



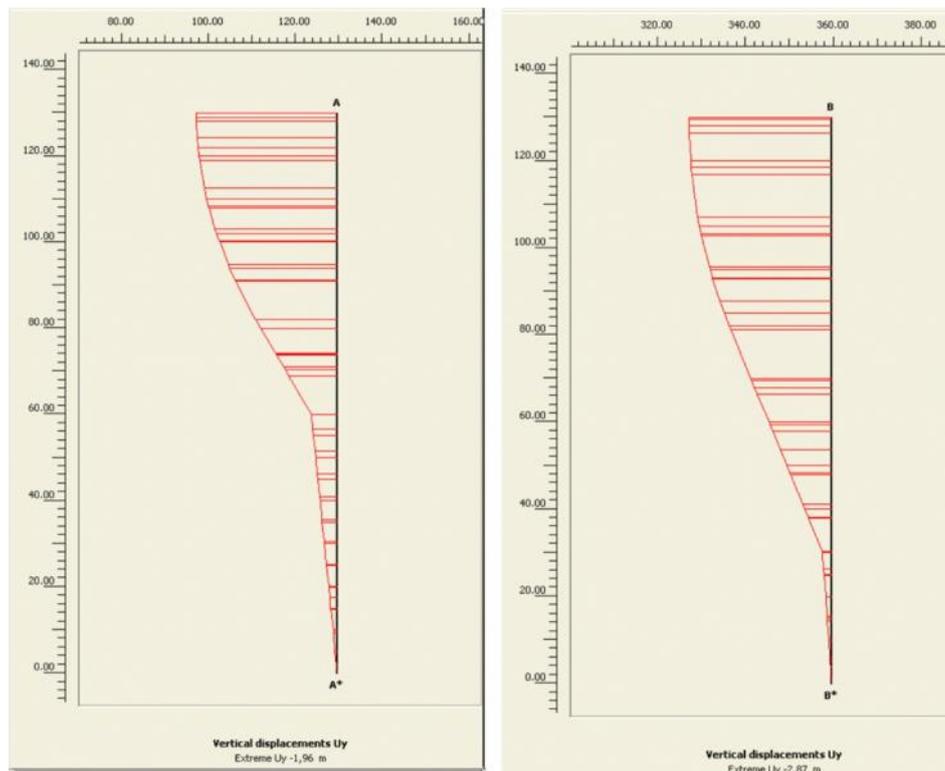
Σχήμα A.17: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης, με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.



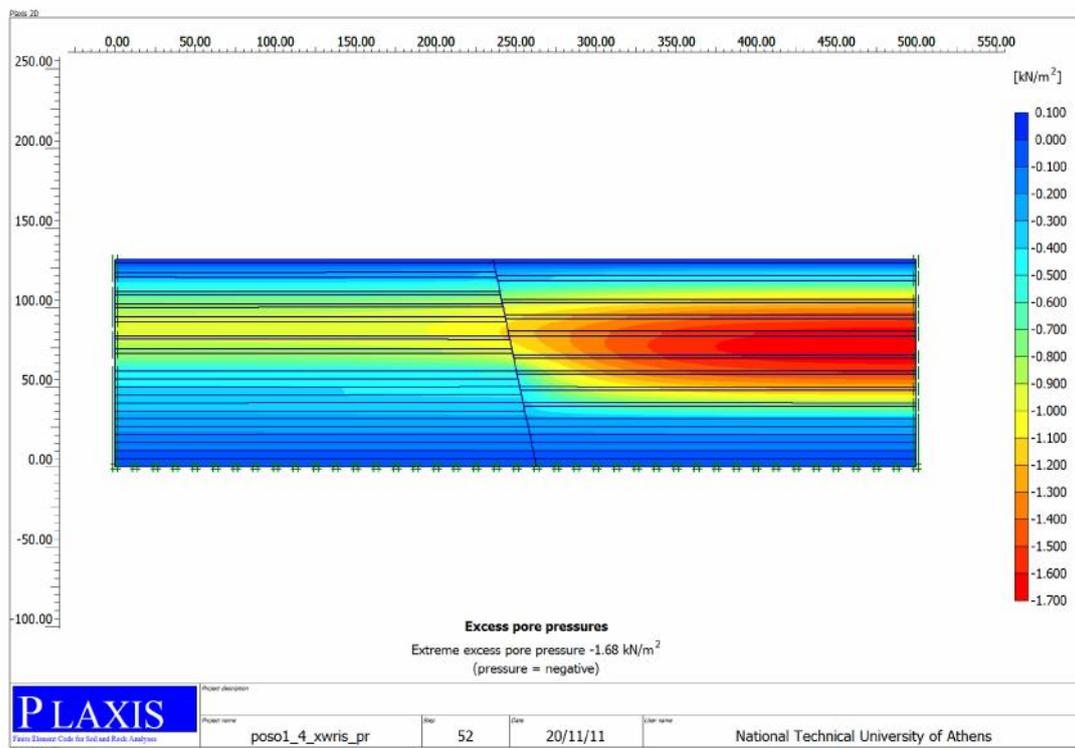
Σχήμα Α.18: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης, με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50.



Σχήμα Α.19: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

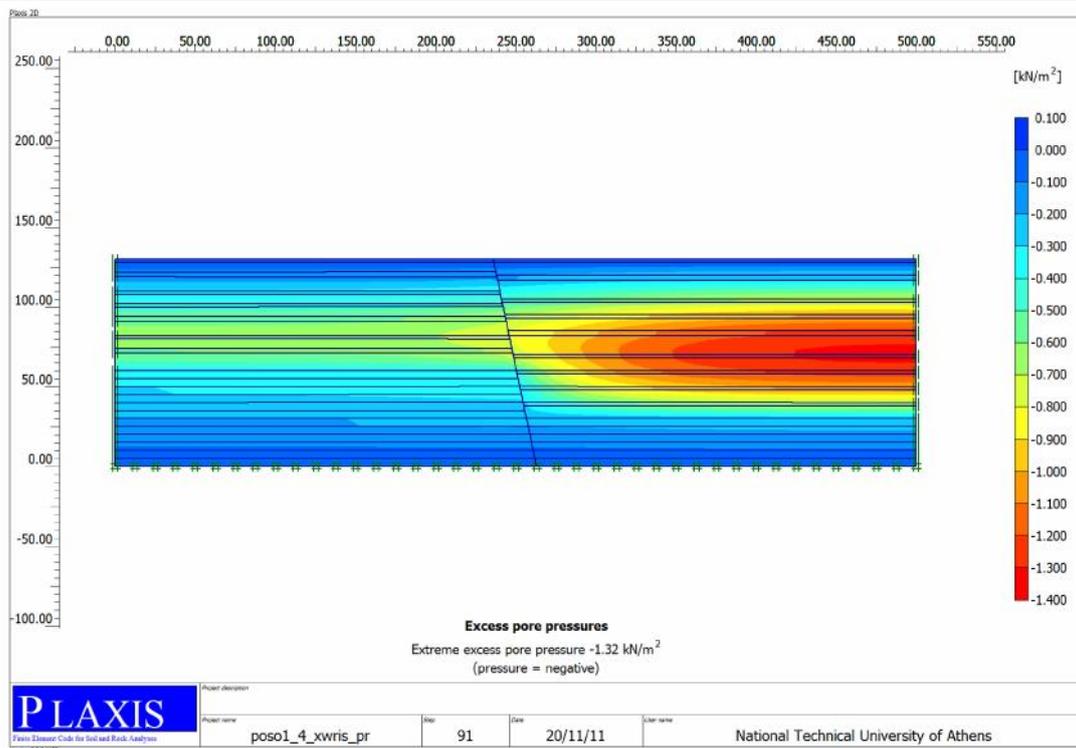


Σχήμα A.20: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

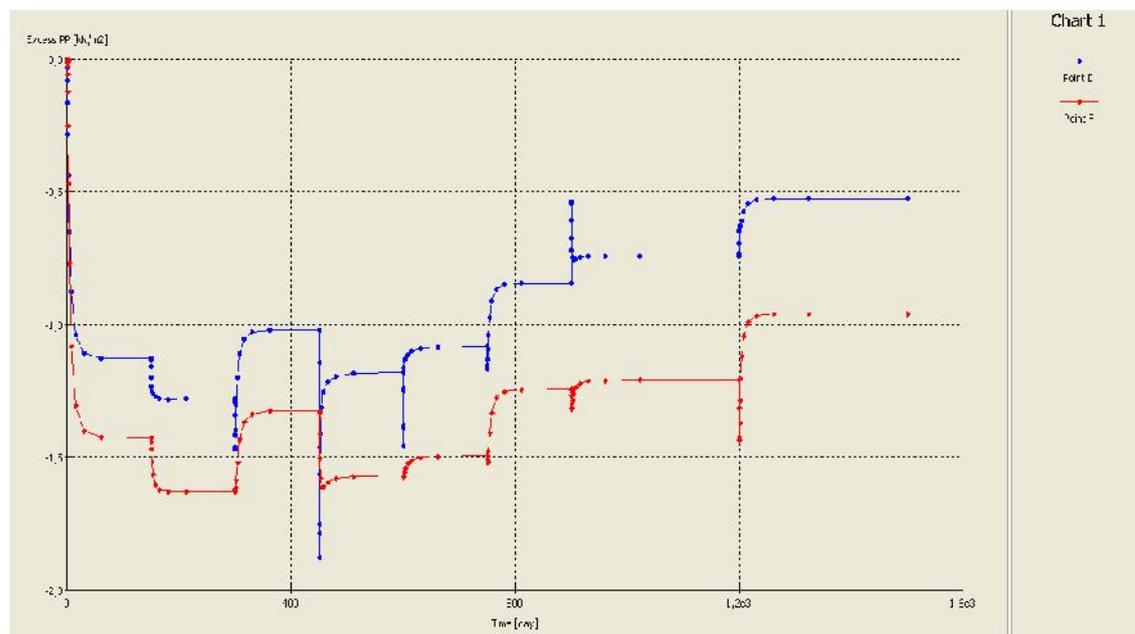


Σχήμα A.21: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



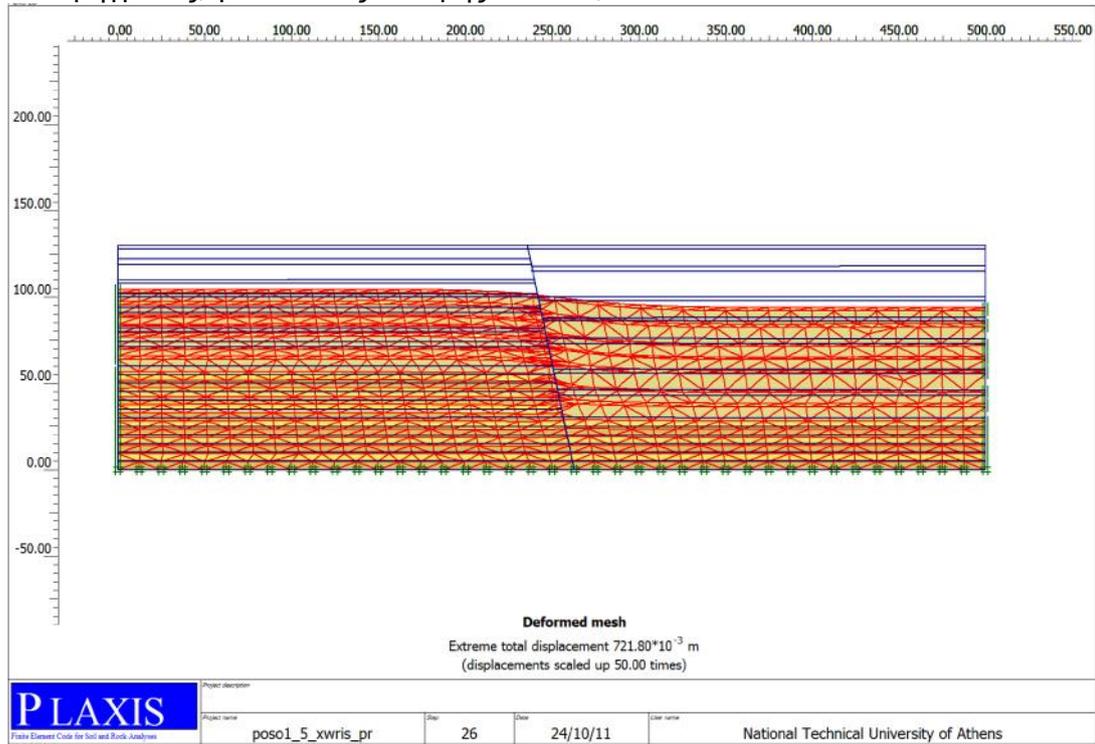
Σχήμα Α.22: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 40m.



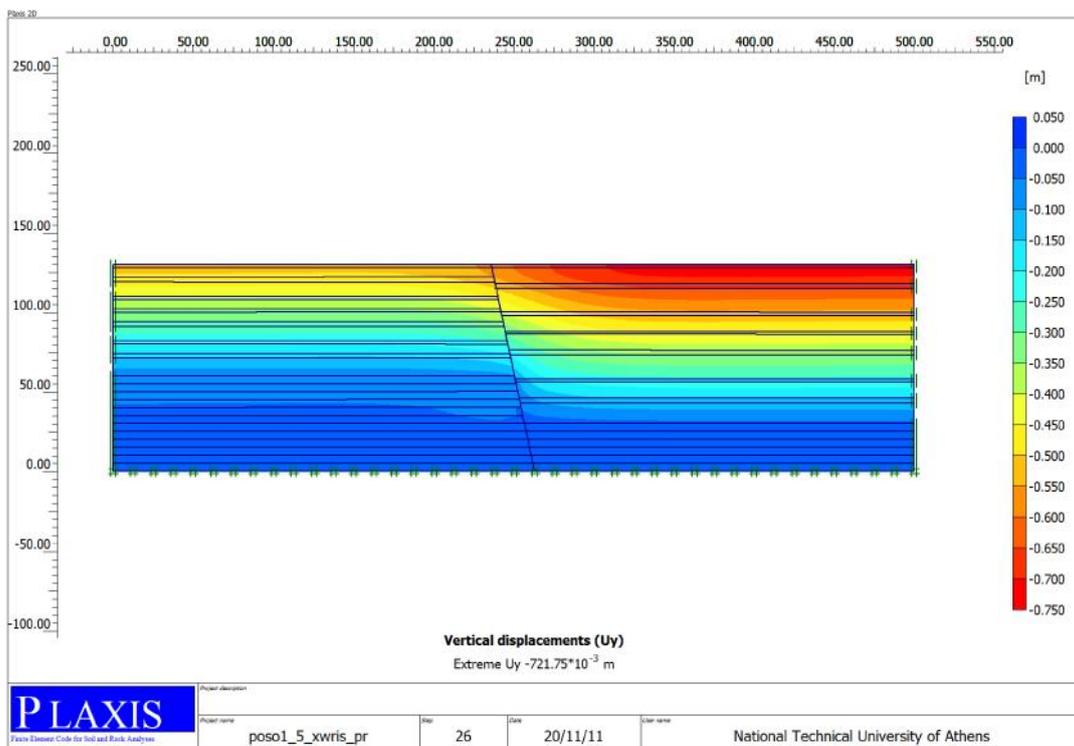
Σχήμα Α.23: Διάγραμμα της υπερπίεσης νερού των πόρων συναρτήσει του χρόνου του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:4 δεξιά του ρήγματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

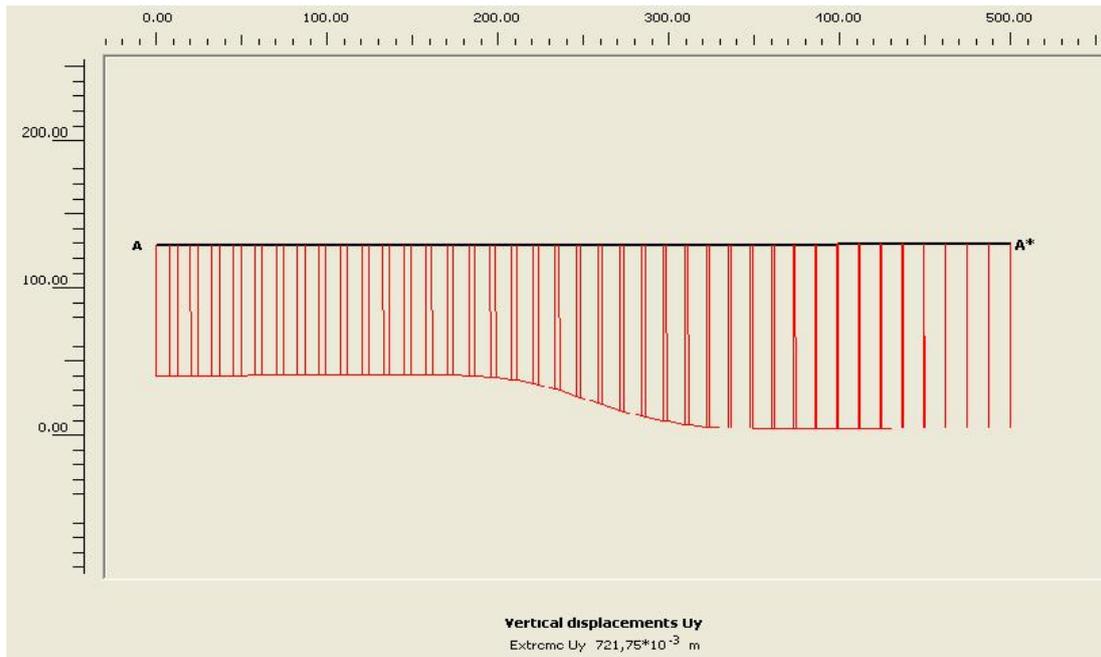
- ❖ Παραμετρικές αναλύσεις για την διερεύνηση των διαφορικών παραμορφώσεων εκατέρωθεν ρήγματος με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώσεις στάθμης Υ.Ο. 10, 20 και 50 m.



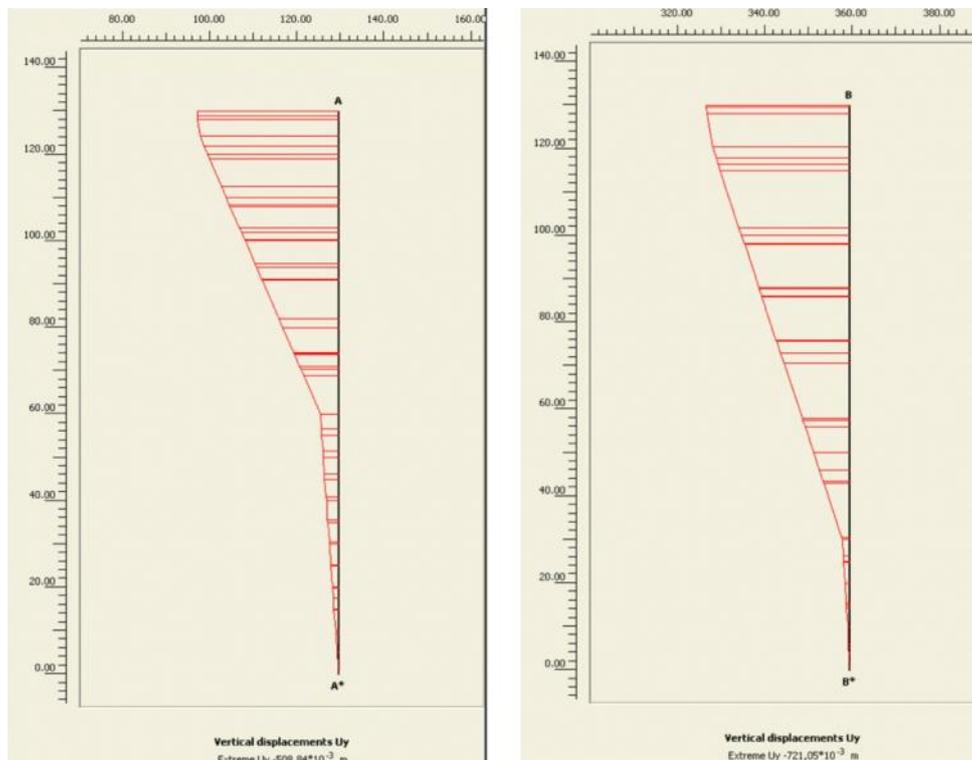
Σχήμα A.24: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.



Σχήμα A.25: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

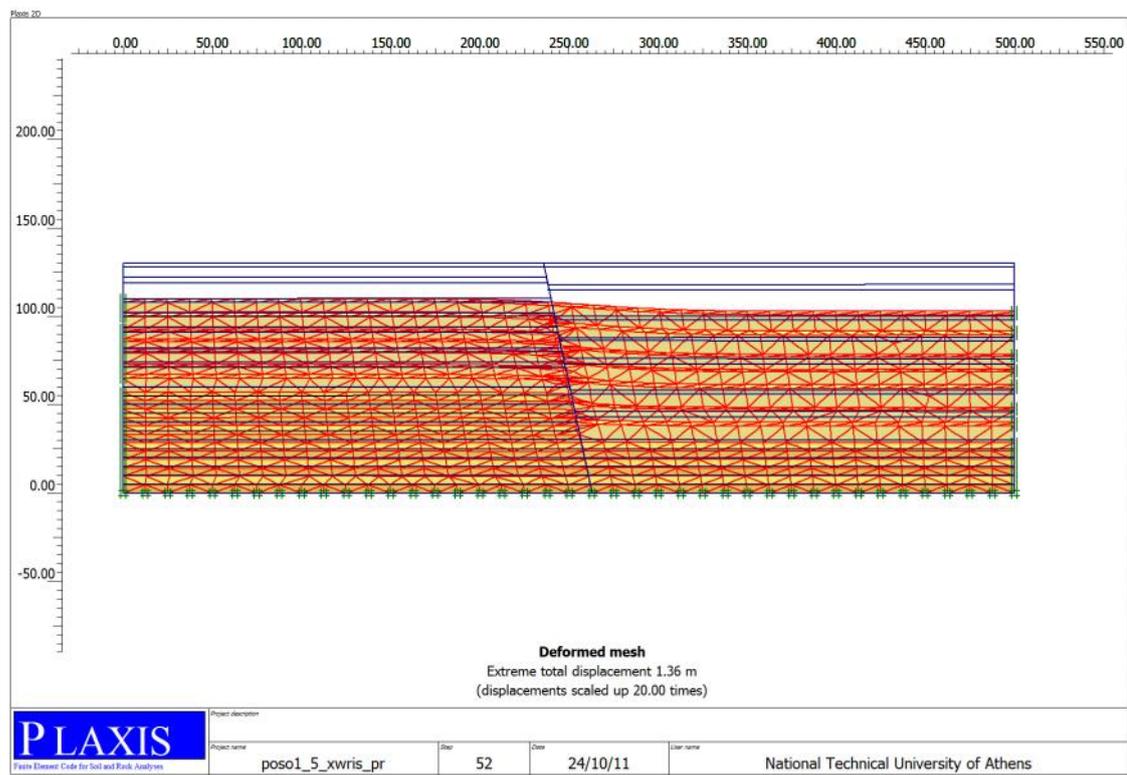


Σχήμα Α.26: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

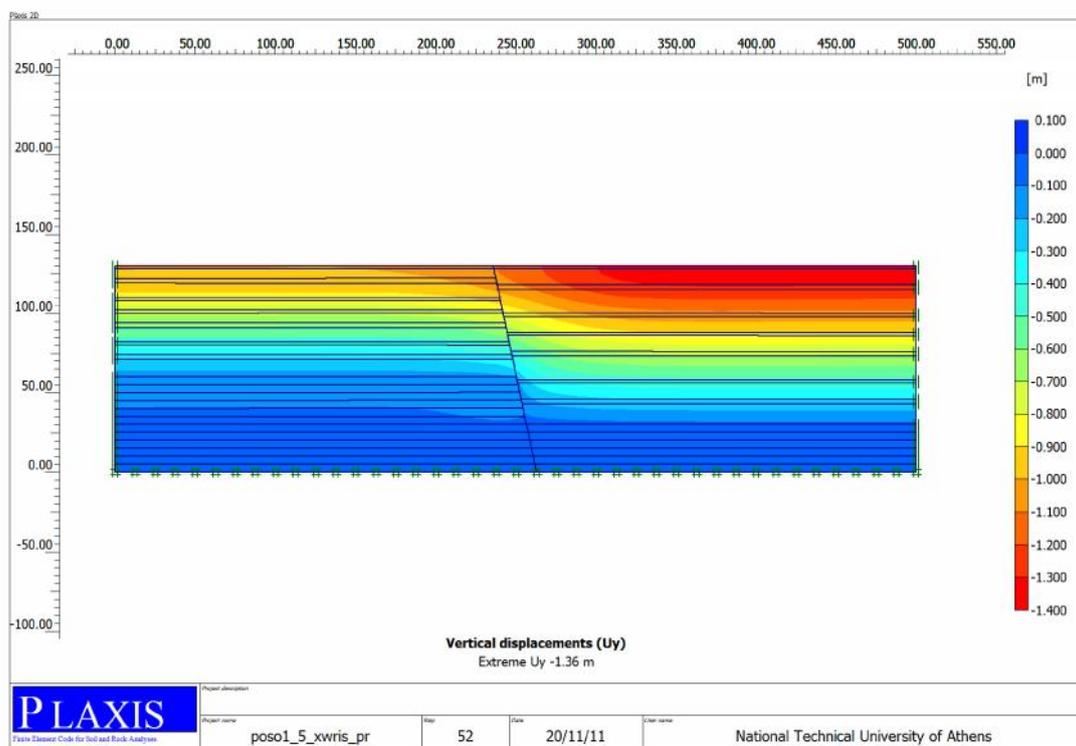


Σχήμα Α.27: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

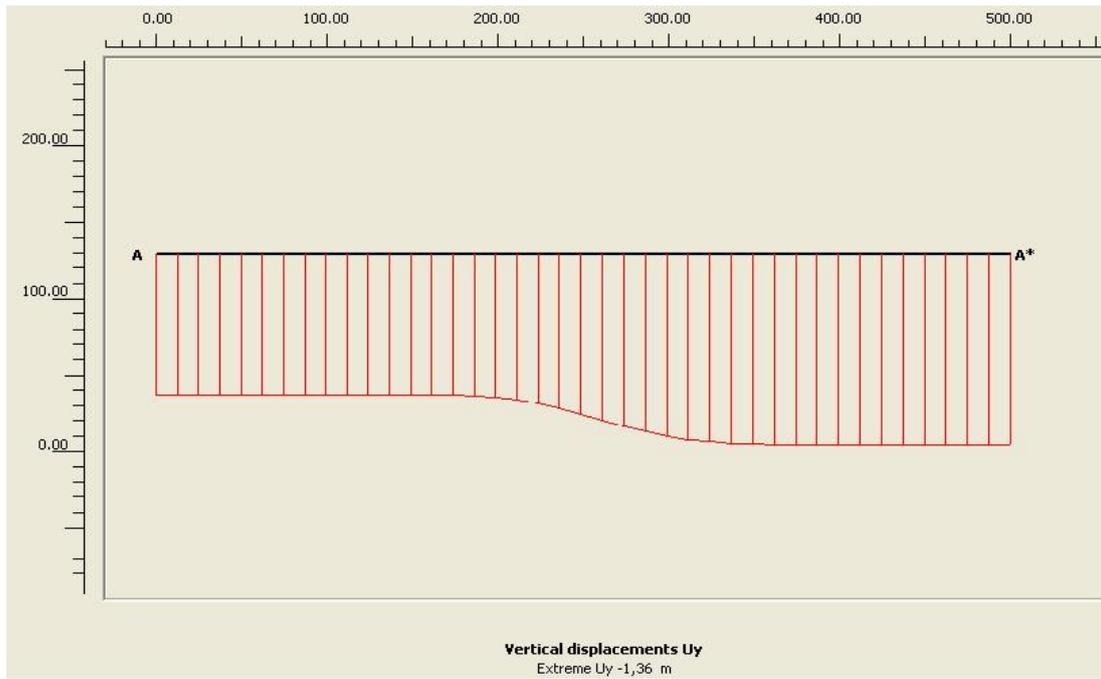
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



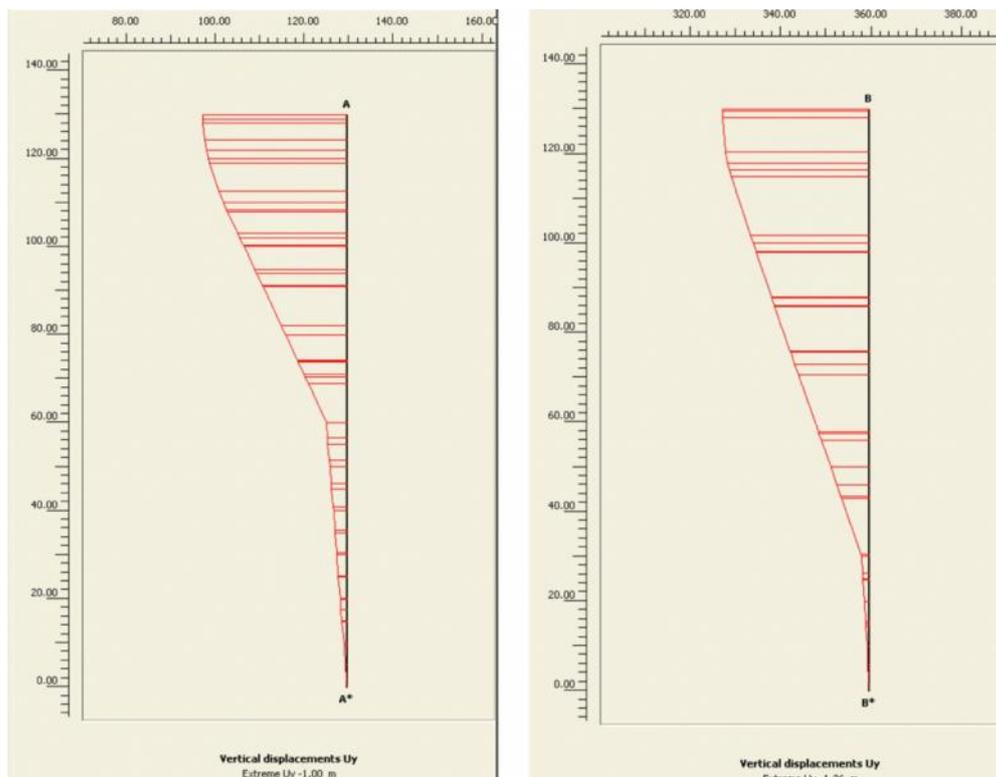
Σχήμα A.28: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



Σχήμα A.29: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

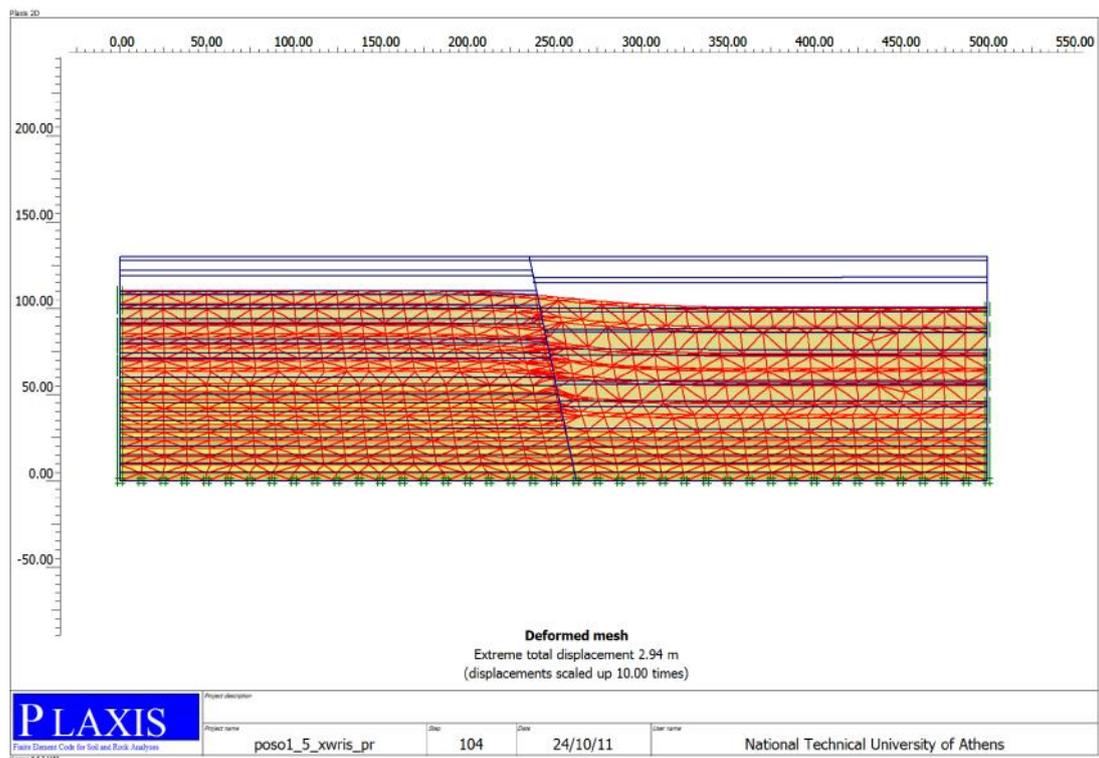


Σχήμα A.30: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

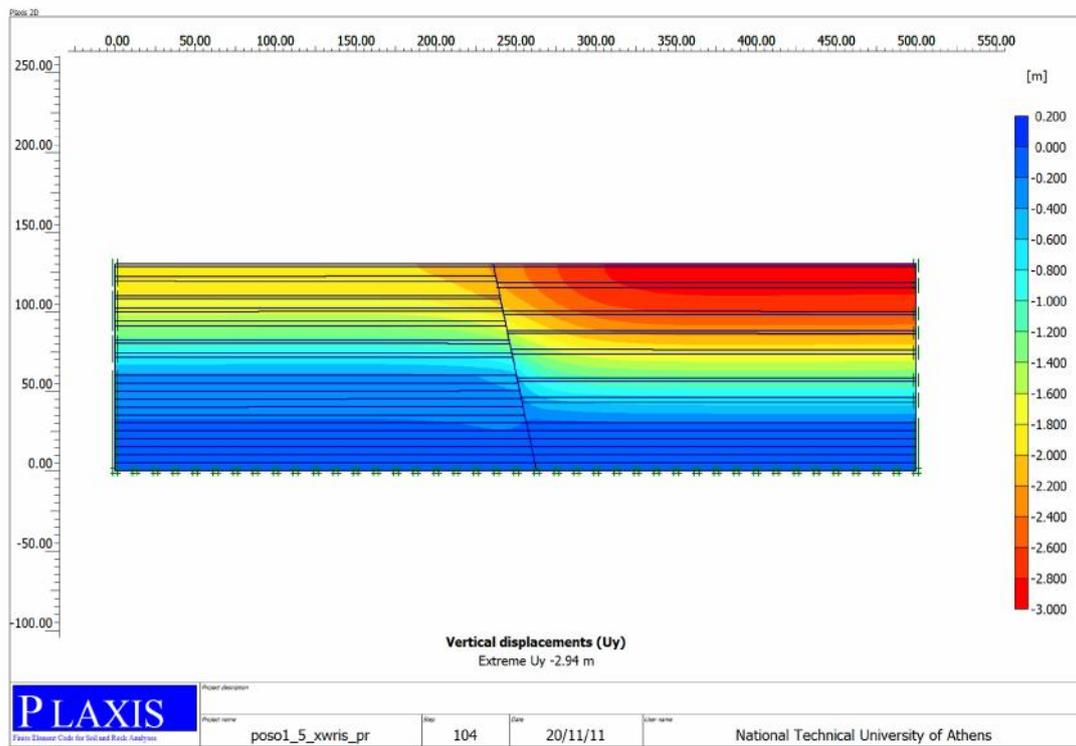


Σχήμα A.31: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

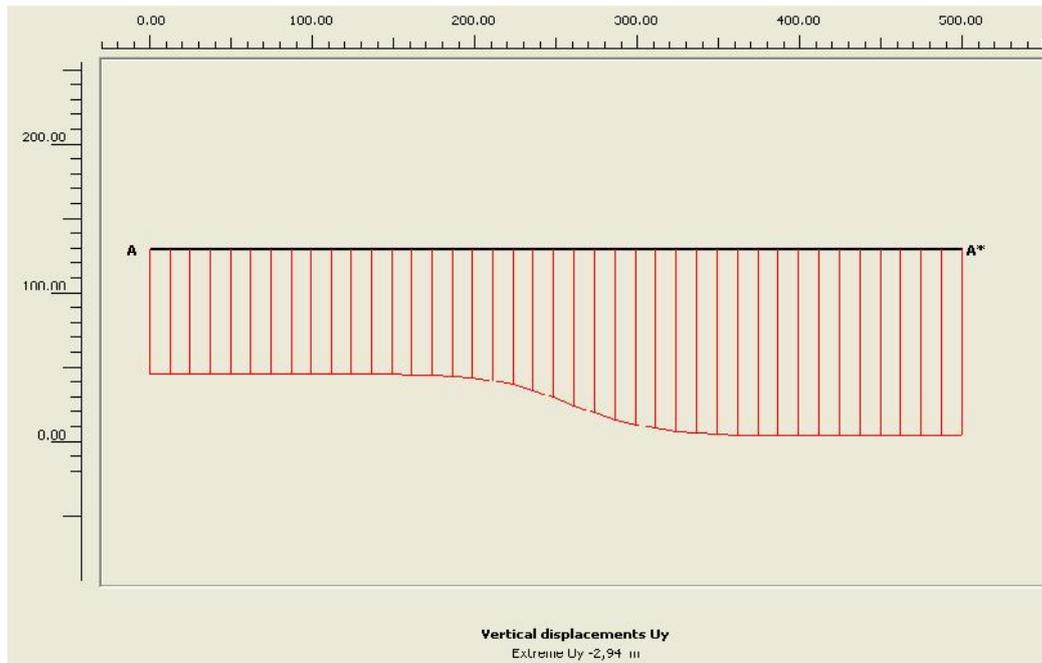
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



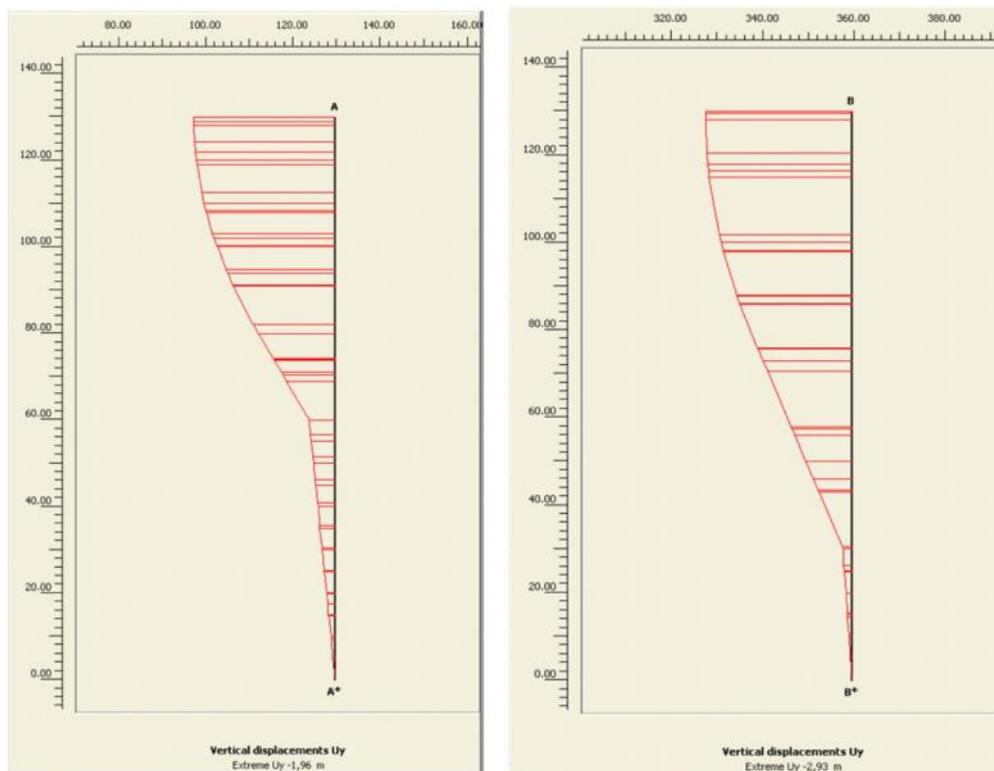
Σχήμα A.32: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.



Σχήμα A.33: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

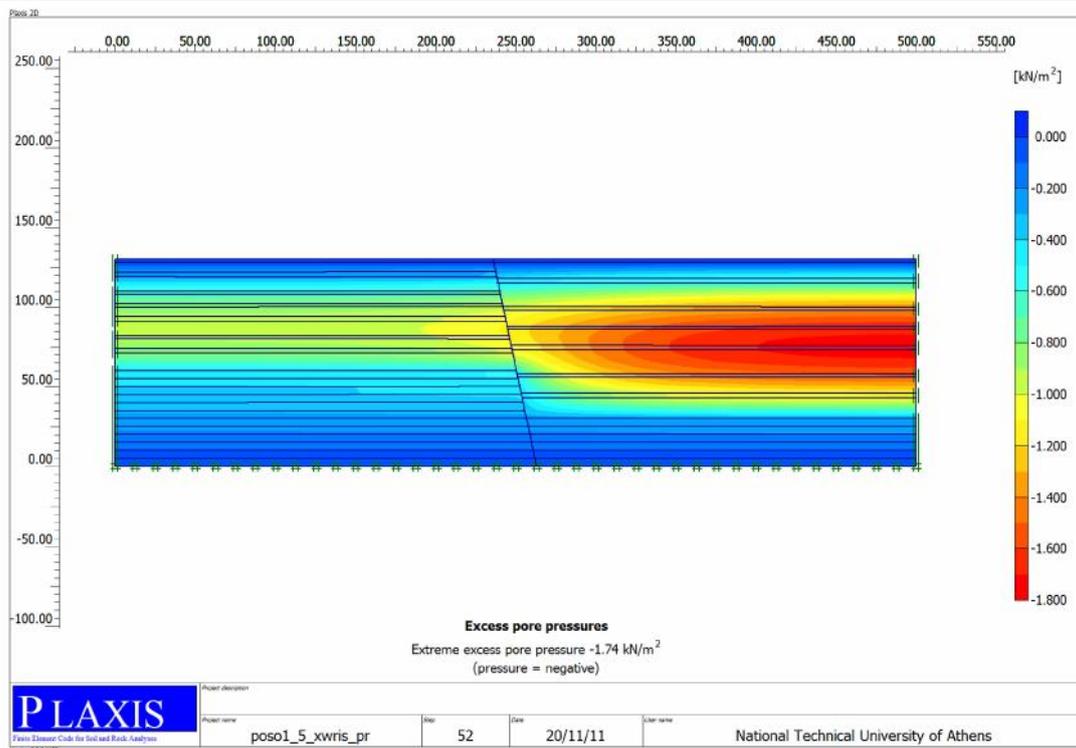


Σχήμα Α.34: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

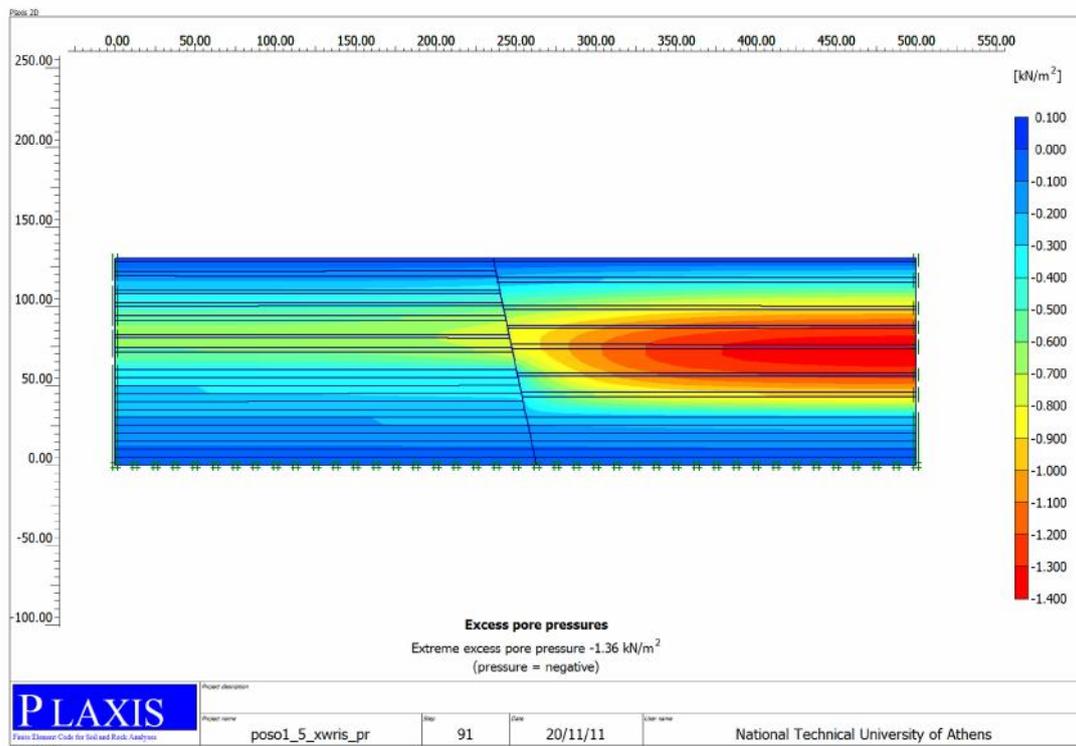


Σχήμα Α.35: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

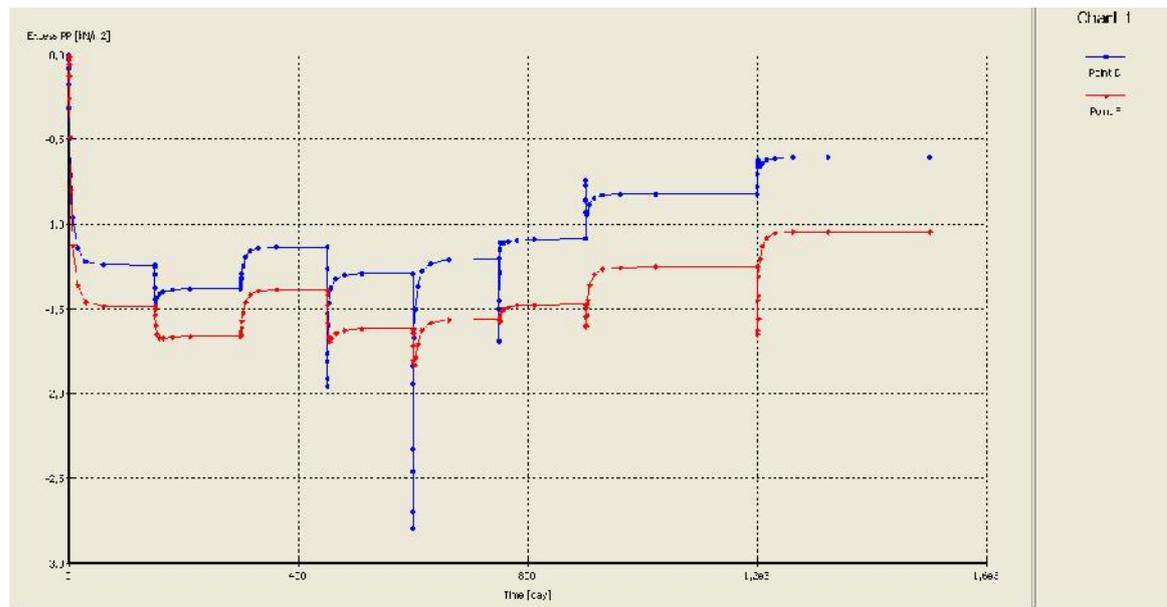


Σχήμα Α.36: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



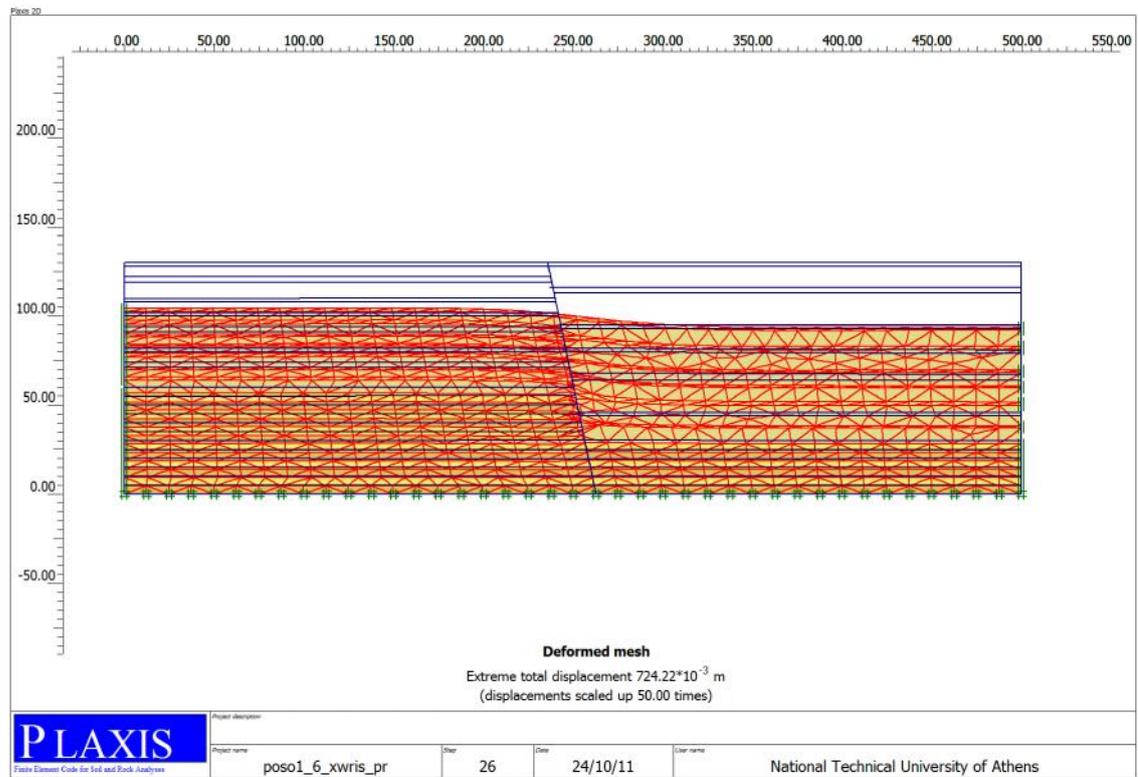
Σχήμα Α.37: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 40m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



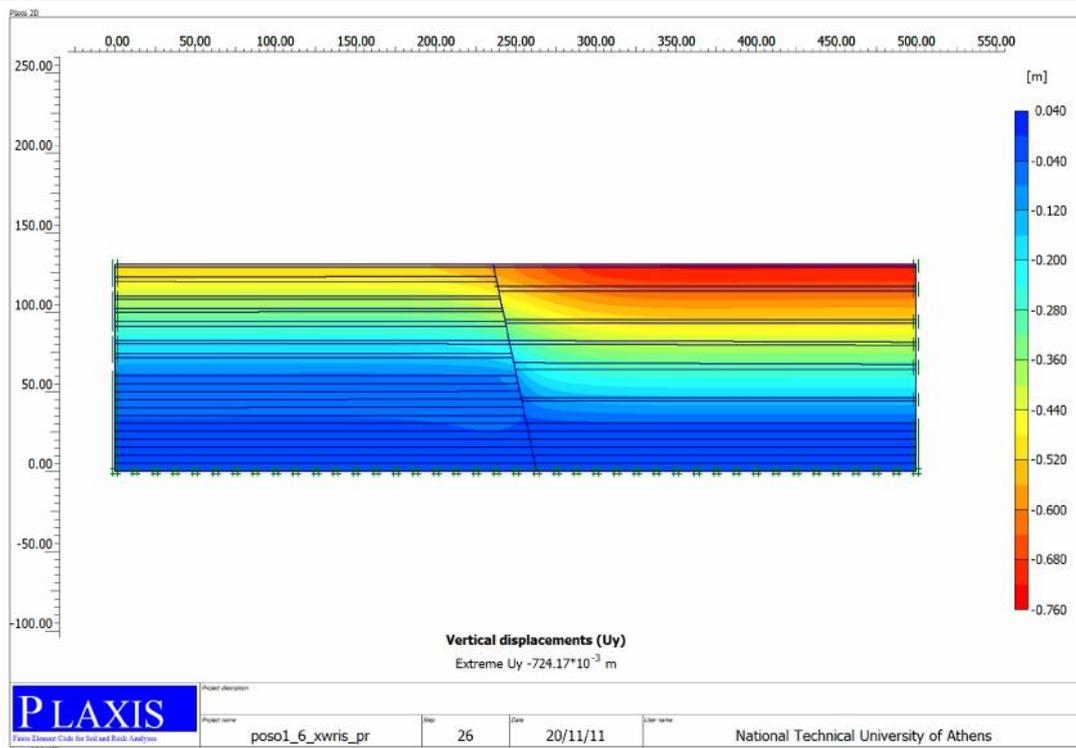
Σχήμα Α.38: Διάγραμμα της υπερπίεσης νερού των πόρων συναρτήσει του χρόνου, του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:5 δεξιά του ρήγματος.

- ❖ Παραμετρικές αναλύσεις για την διερεύνηση των διαφορικών παραμορφώσεων εκατέρωθεν ρήγματος με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώσεις στάθμης Υ.Ο. 10, 20 και 50 m.



Σχήμα Α.39: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

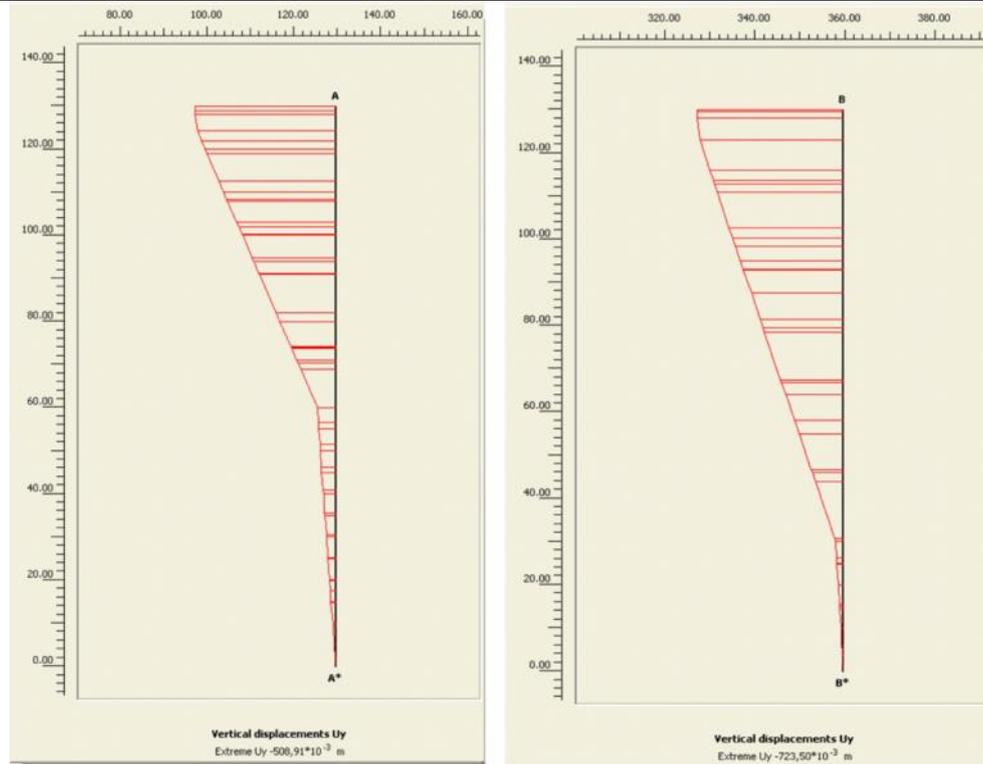


Σχήμα Α.40: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

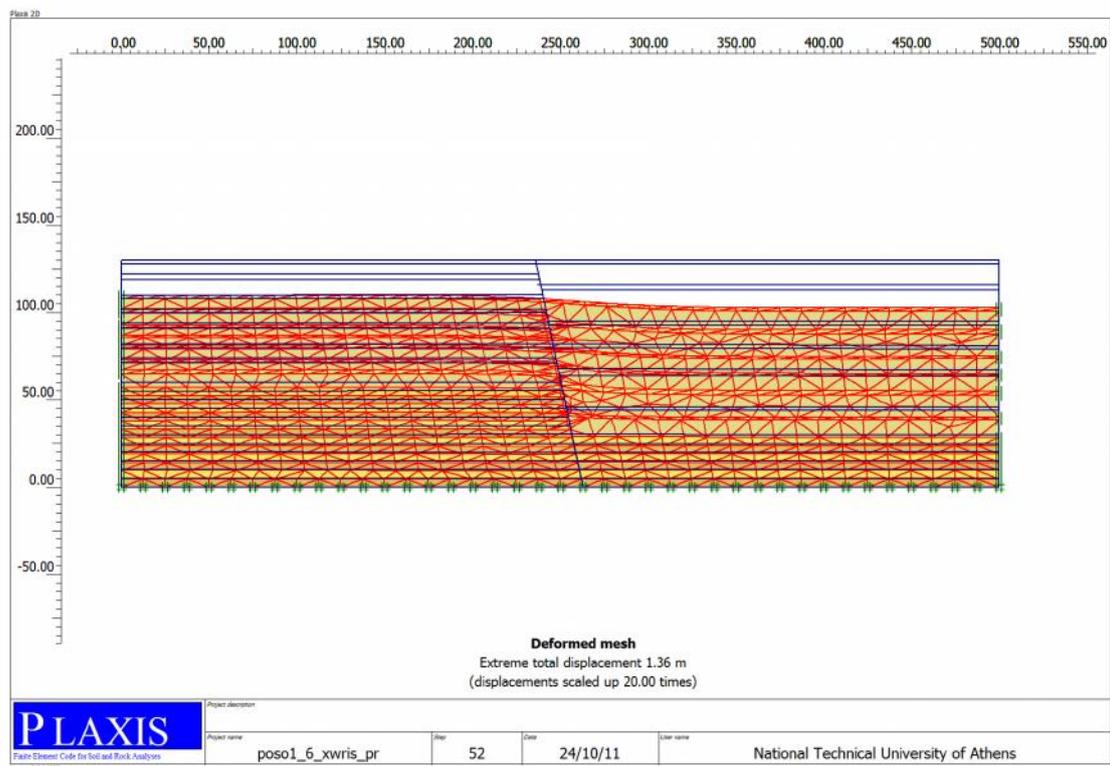


Σχήμα Α.41: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

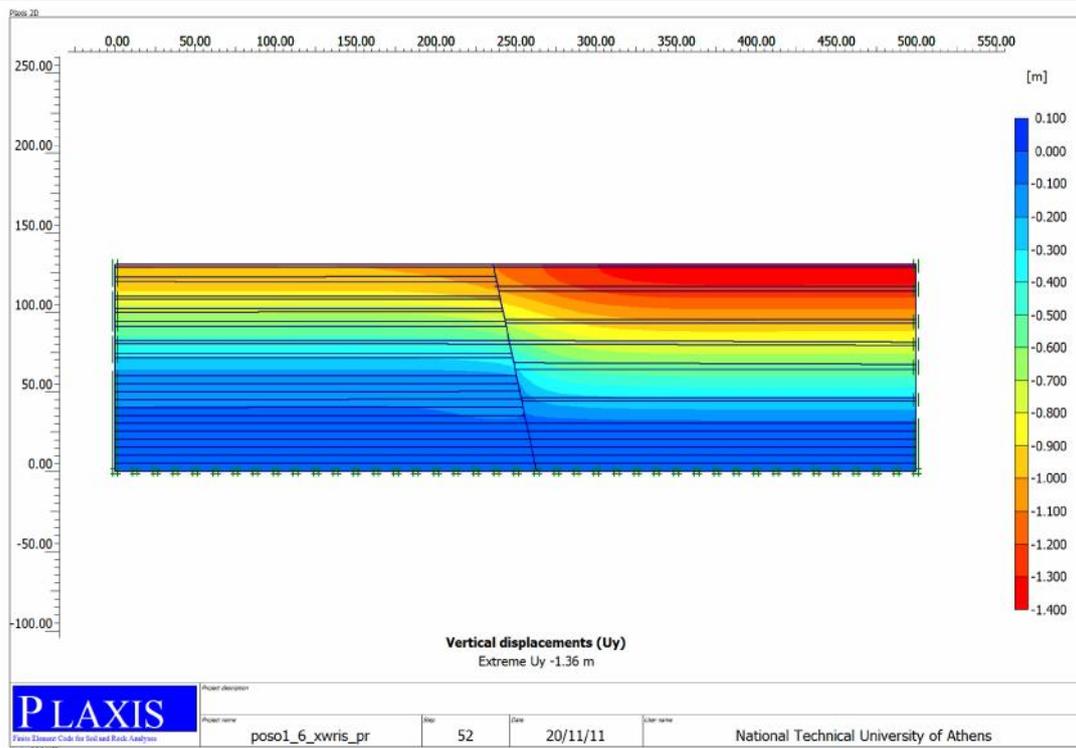


Σχήμα A.42: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 10m.

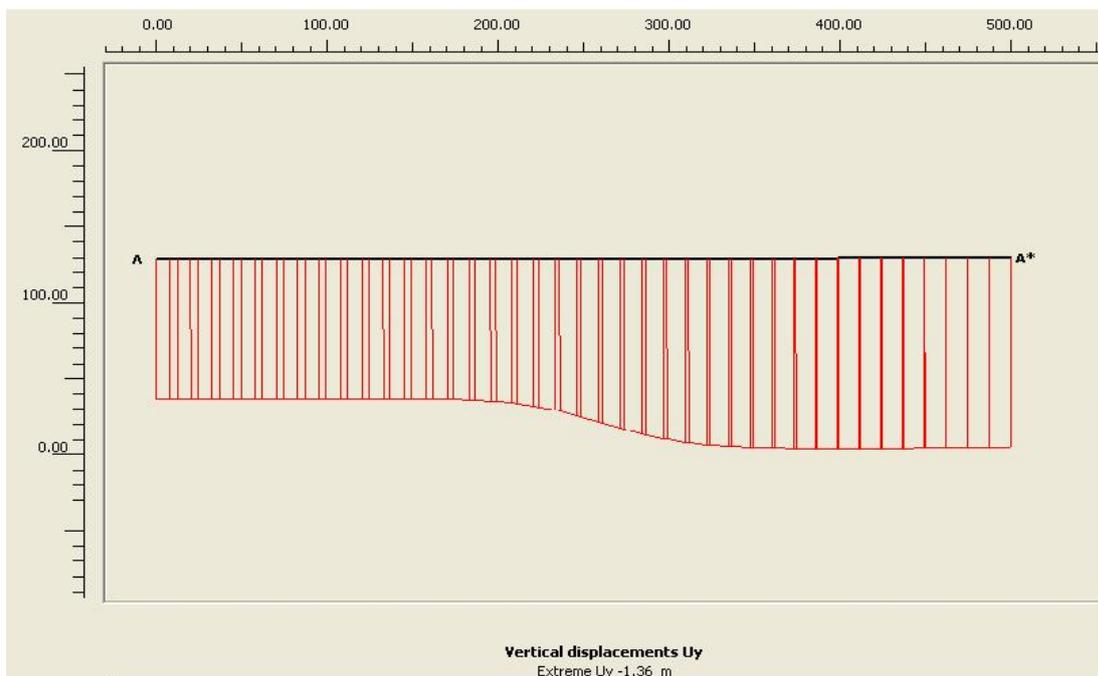


Σχήμα A.43: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

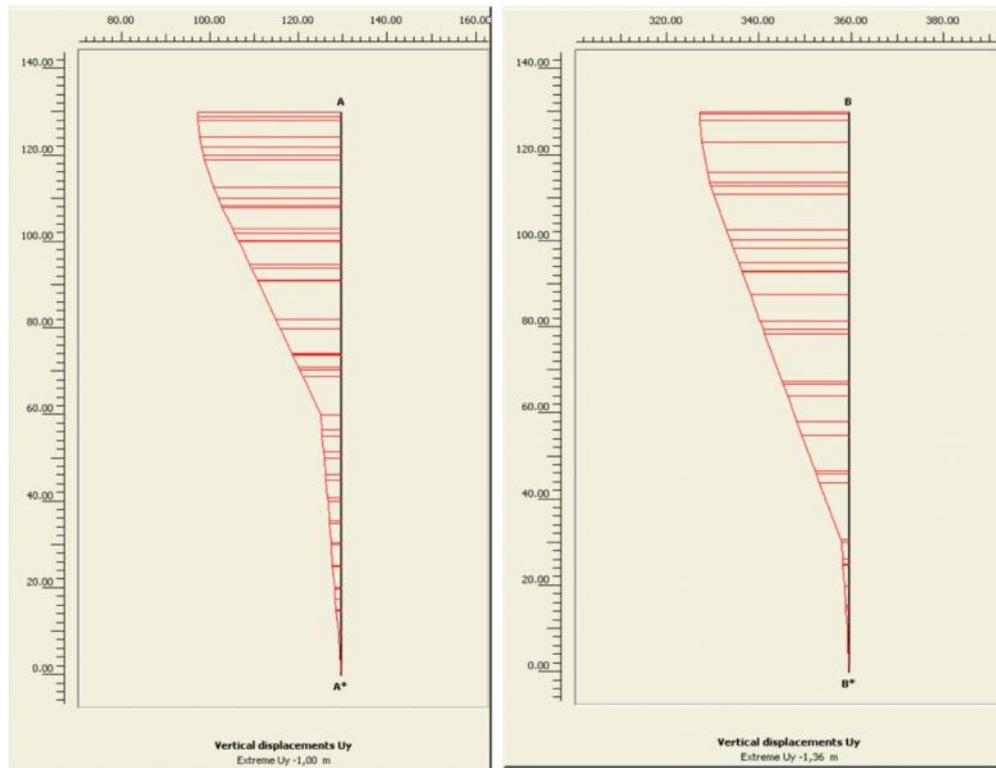
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



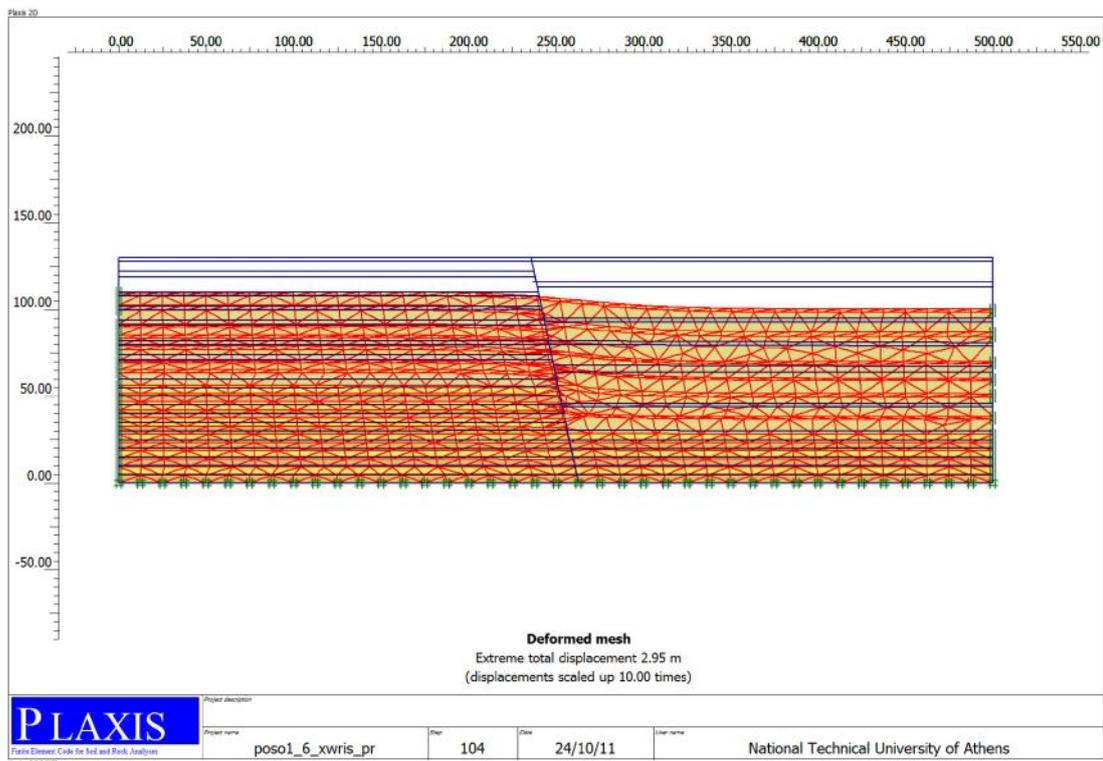
Σχήμα A.44: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



Σχήμα A.45: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

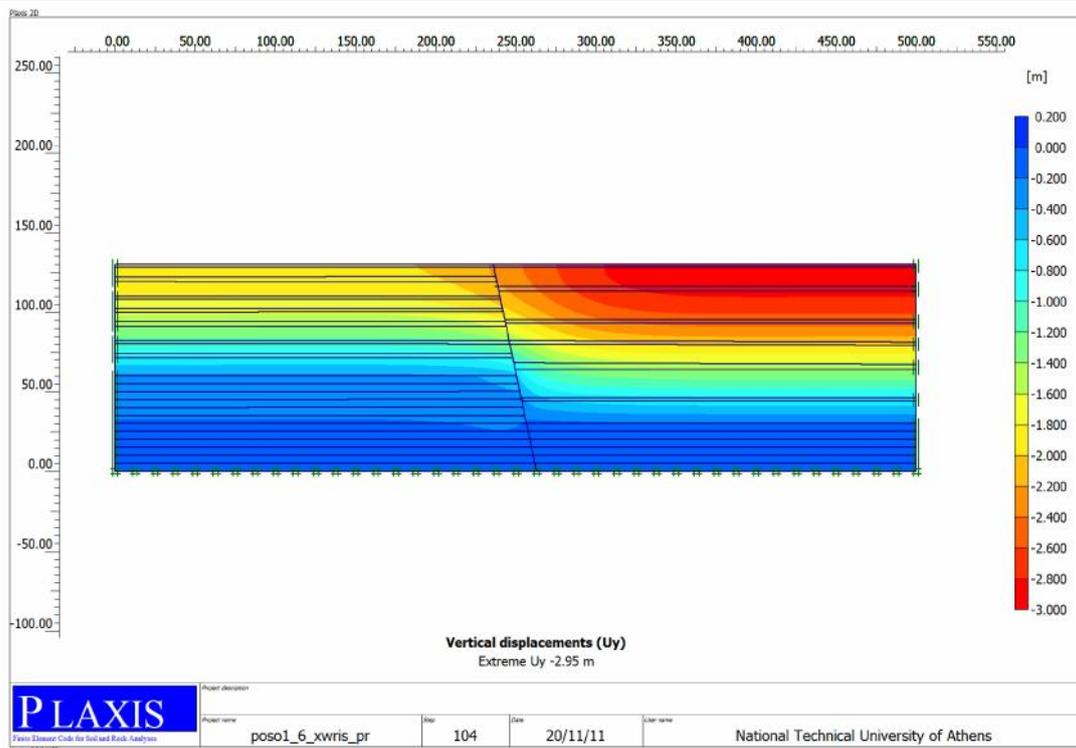


Σχήμα Α.46: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος στο μοντέλο προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.

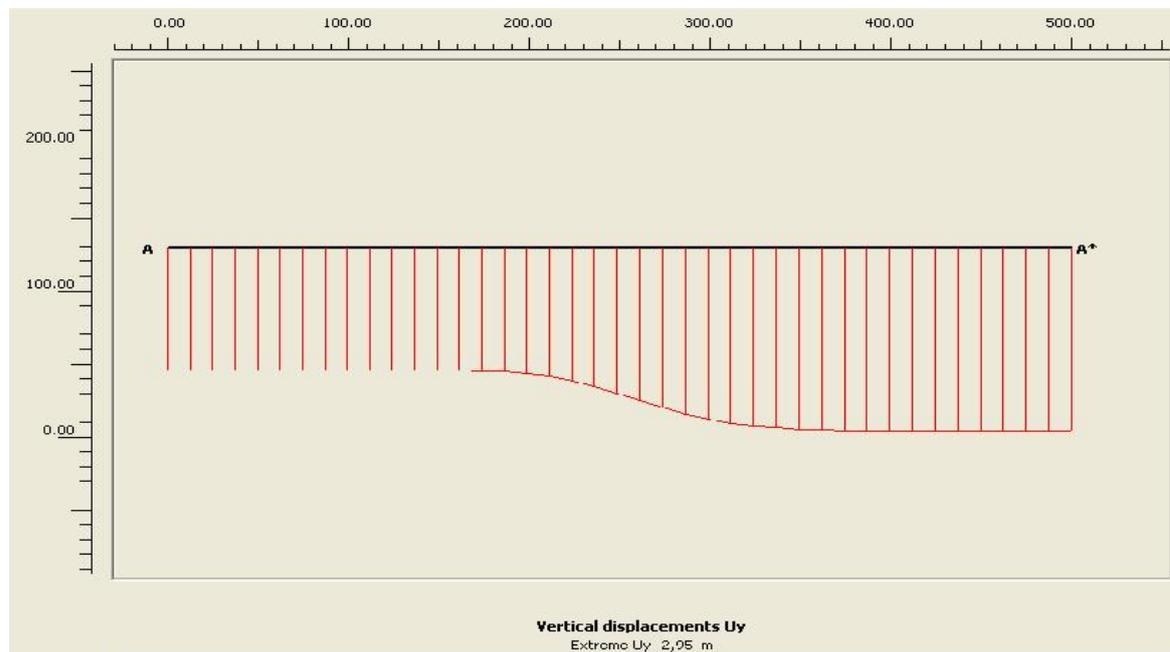


Σχήμα Α.47: Παρουσίαση της κατανομής των συνολικών μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

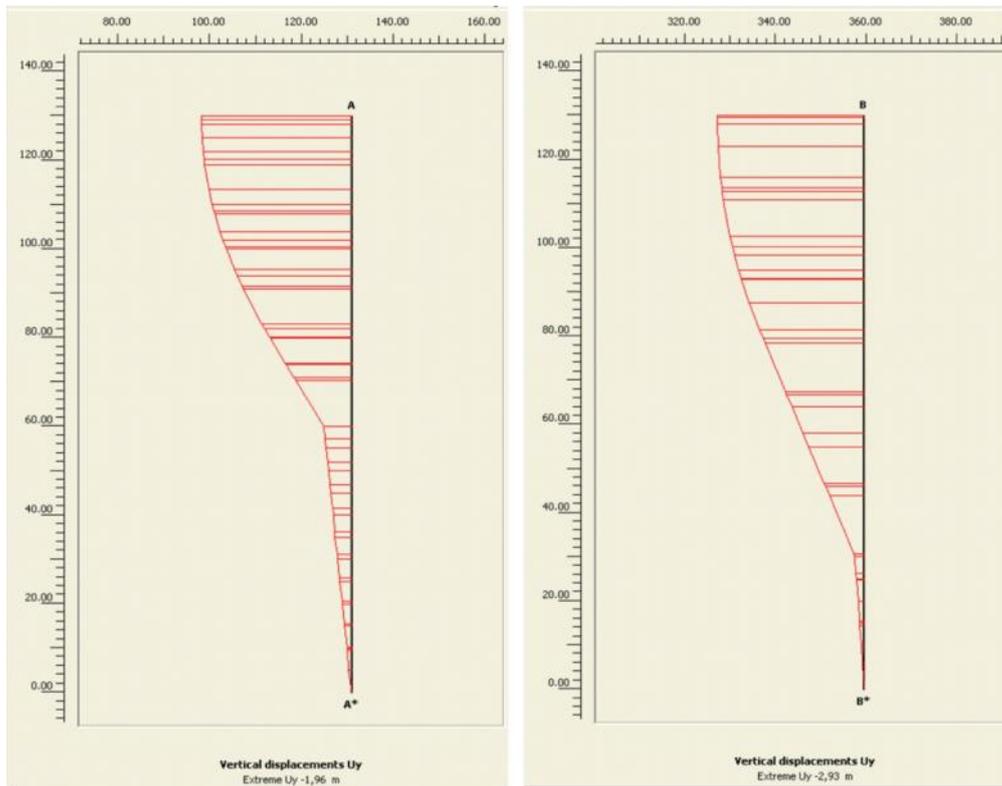


Σχήμα Α.48: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

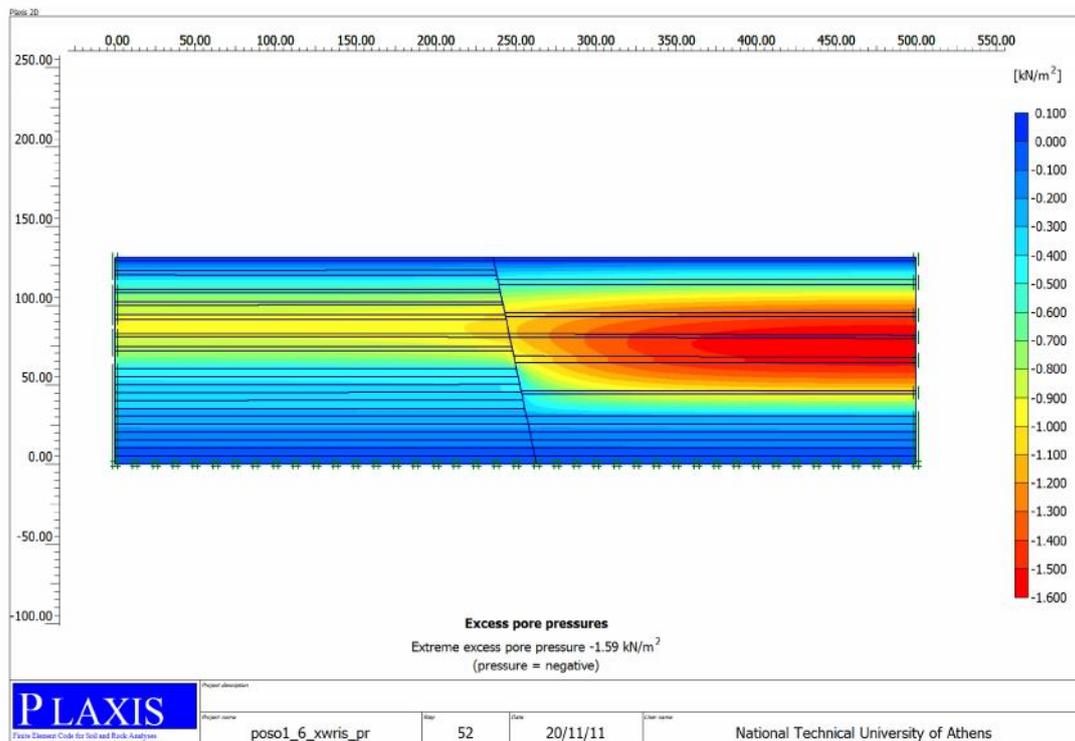


Σχήμα Α.49: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομή κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m.

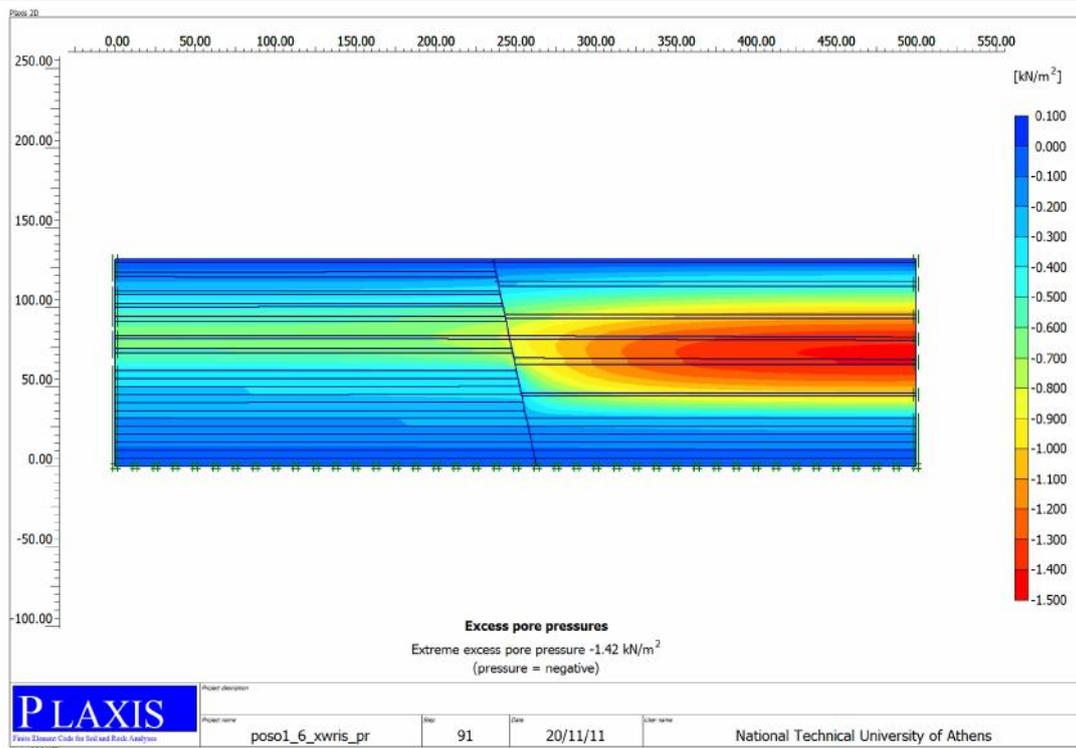
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



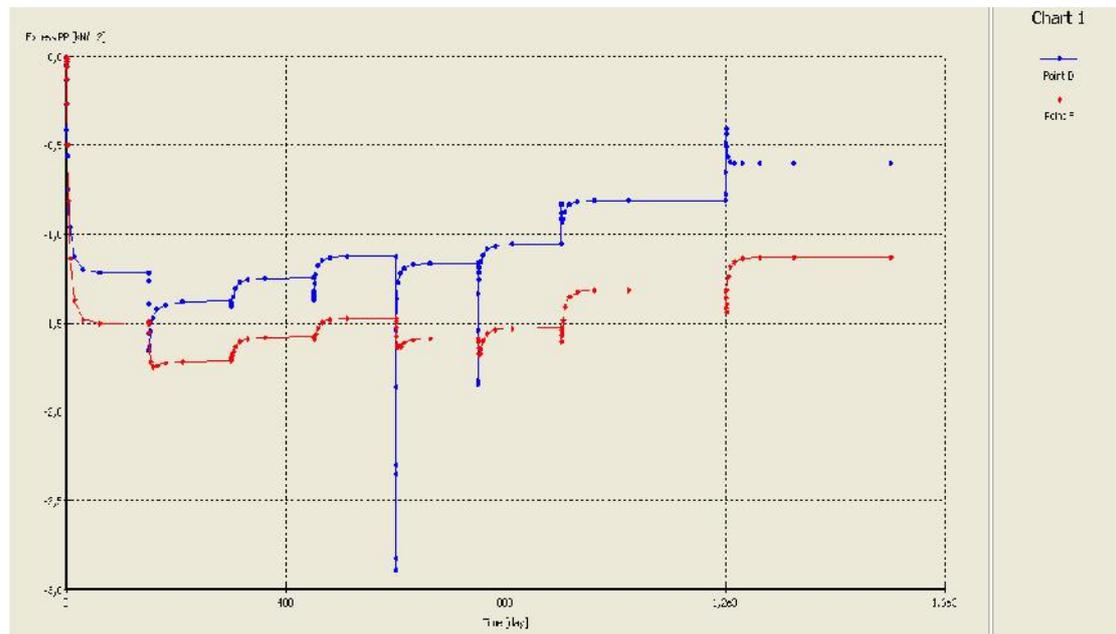
Σχήμα A.50: Κατανομή των κατακόρυφων μετακινήσεων σε τομές εκατέρωθεν του ρήγματος στο μοντέλο προσομοίωσης με το ρήγμα με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 50m πτώση.



Σχήμα A.51: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



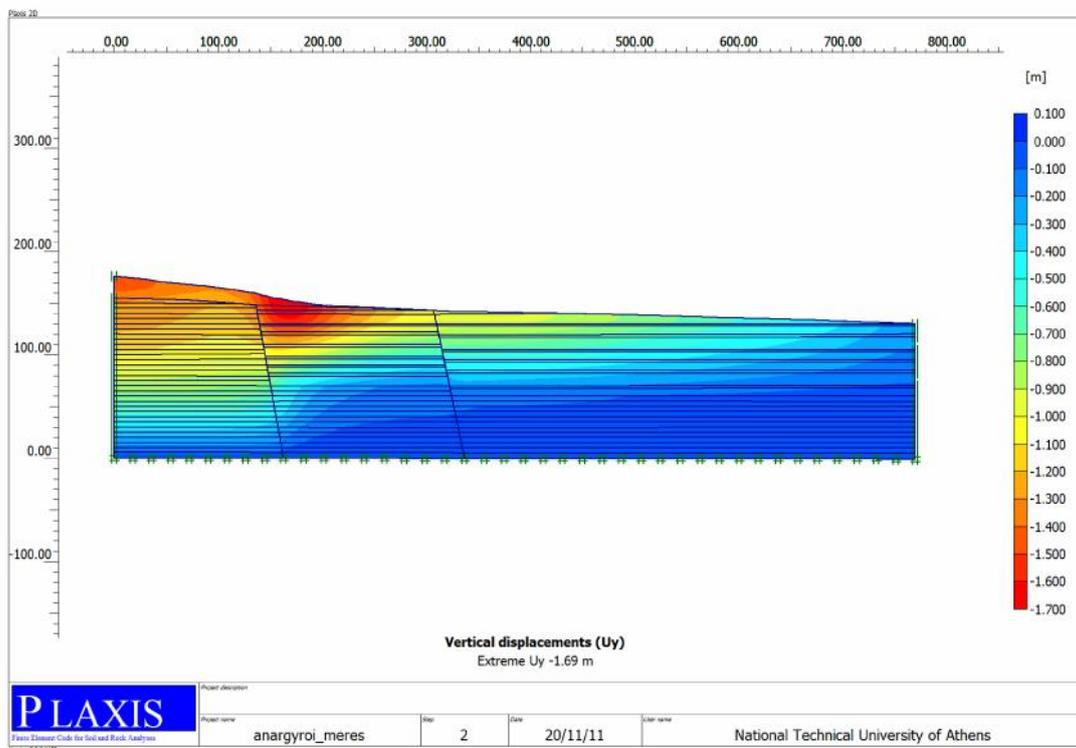
Σχήμα Α.52: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 40m.



Σχήμα Α.53: Διάγραμμα της υπερπίεσης νερού των πόρων συναρτήσει του χρόνου του μοντέλου προσομοίωσης με αναλογία άμμου – αργίλου 1:3 αριστερά και 1:6 δεξιά του ρήγματος.

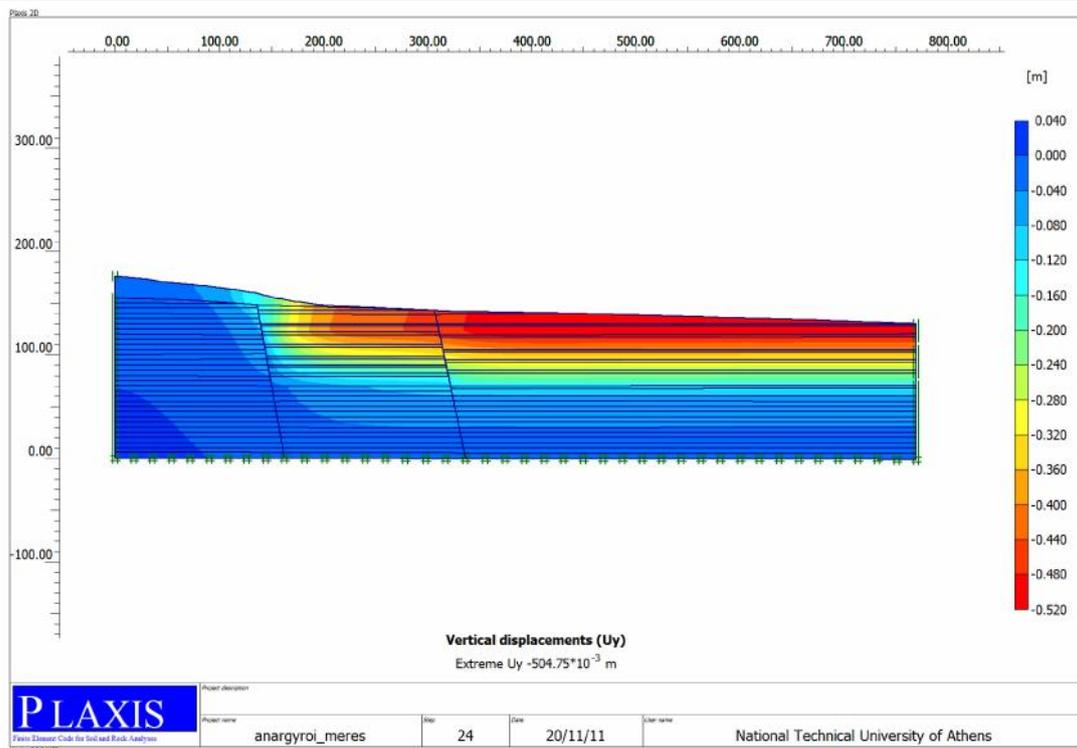
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ ΣΕ ΤΟΜΗ ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΟ ΠΡΑΝΕΣ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΖΕΤΑΙ Ο ΟΙΚΙΣΜΟΣ

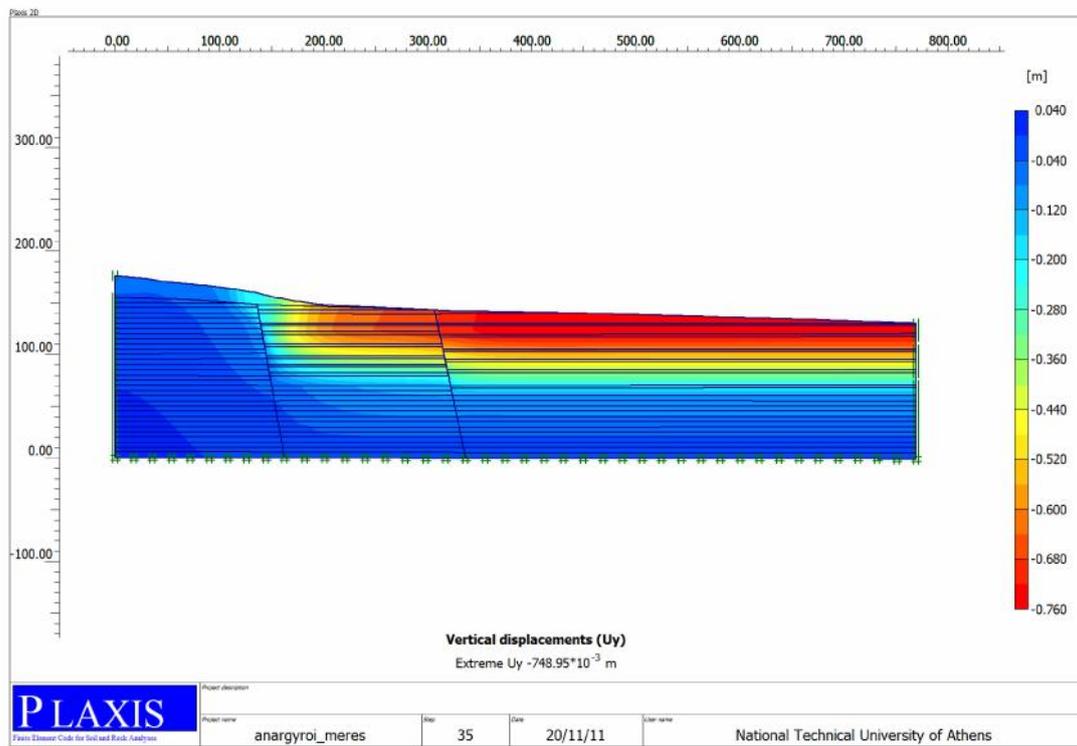


Σχήμα Β.1: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 5 m.

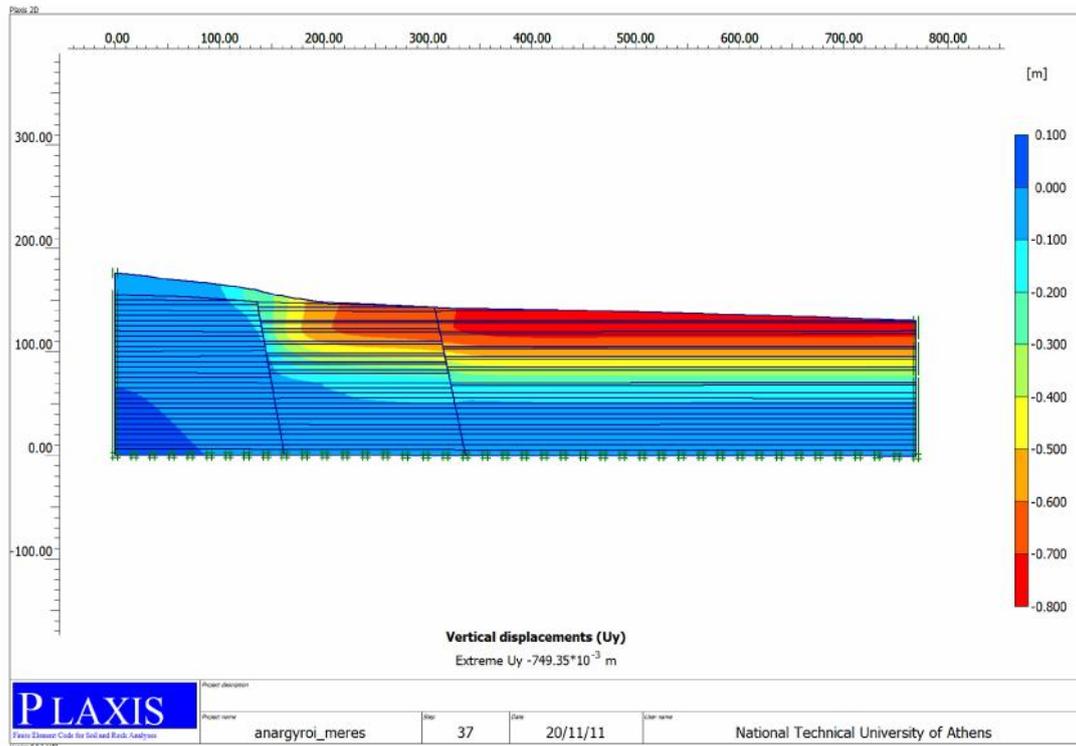
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β



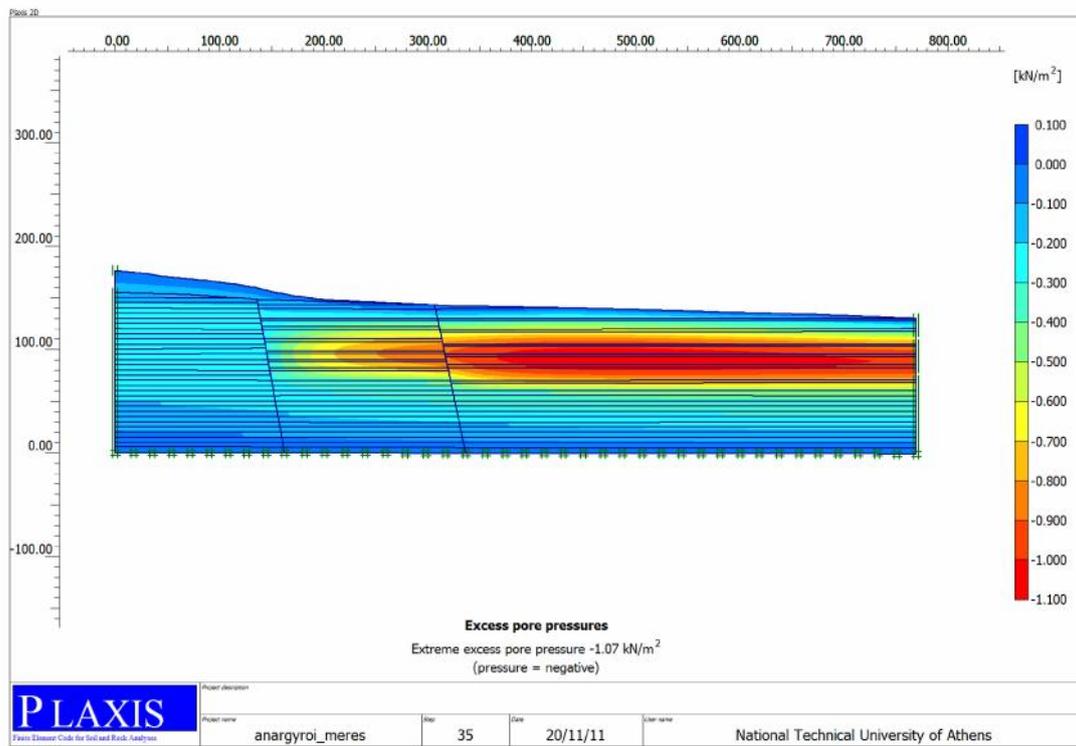
Σχήμα Β.2: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης $\gamma.O.$ 15 m.



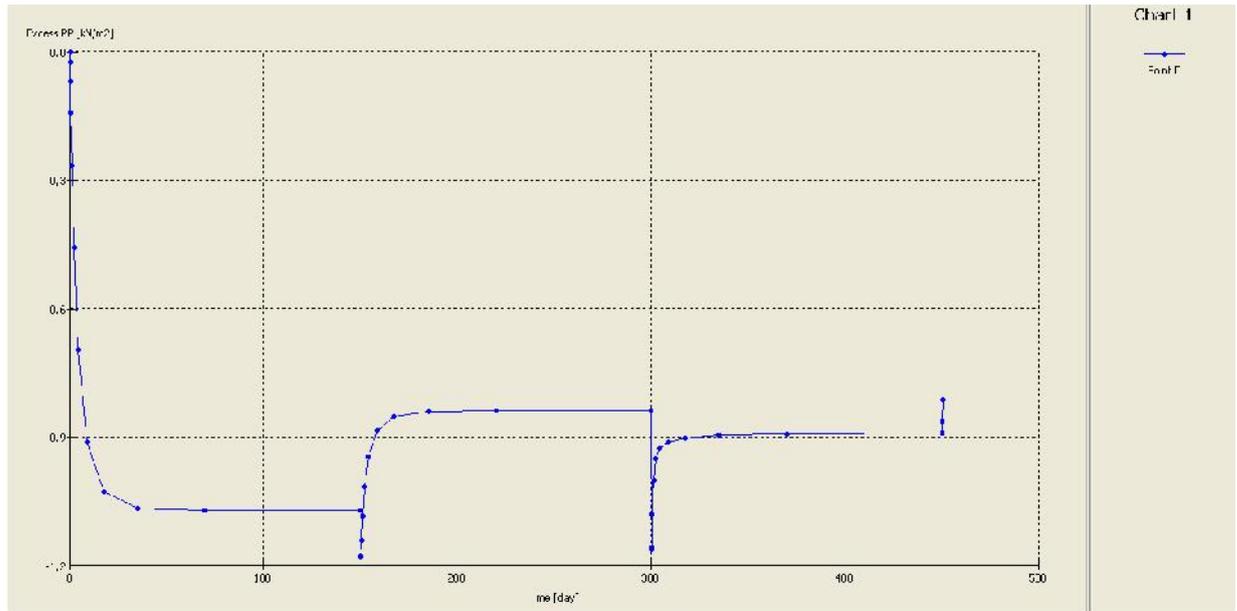
Σχήμα Β.3: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης $\gamma.O.$ 20 m.



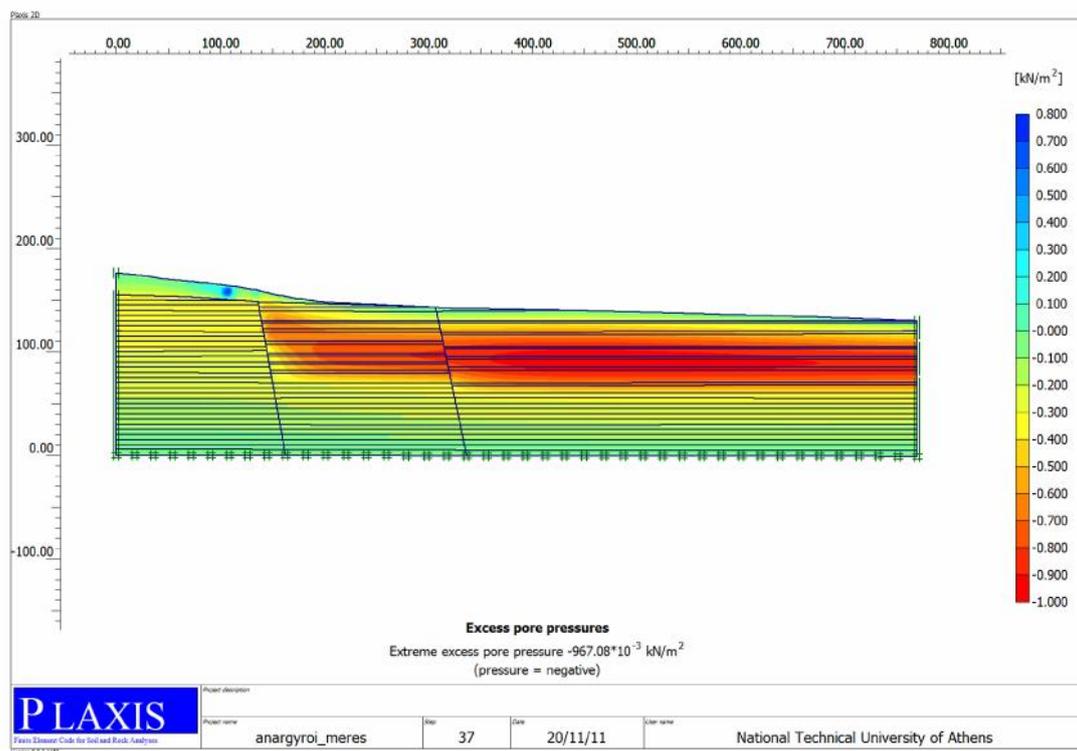
Σχήμα Β.4: Παρουσίαση της κατανομής των κατακόρυφων μετακινήσεων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων στο *min. pore pressure*.



Σχήμα Β.5: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20m.



Σχήμα Β.6: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων, για πτώση στάθμης Υ.Ο. 20 m.



Σχήμα Β.7: Προβολή της κατανομής της υπερπίεσης νερού των πόρων της ανάλυσης του μοντέλου προσομοίωσης των Αναργύρων στην τελική φάση.