



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

«ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Καθορισμός γεωλογικών παραμέτρων εμφάνισης γεωθερμικών
ρευστών, εντός σχηματισμών της Λεκάνης Μεσσαράς**

ΚΥΡΚΙΜΤΖΗ ΙΣΜΗΝΗ ΧΑΡΑ

Γεωλόγος

Εξεταστική επιτροπή:

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής

Στειακάκης Εμμανουήλ, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά, 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ανορυχθείσες υδρογεωτρήσεις στην περιοχή της Πόμπιας του νομού Ηρακλείου έδωσαν τις πρώτες ενδείξεις για την ύπαρξη πιθανού γεωθερμικού πεδίου. Σε αυτήν την περίπτωση, η προσπάθεια καθορισμού των στρωματογραφικών και τεκτονικών στοιχείων που επικρατούν στην περιοχή αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση για την κατανόηση του μηχανισμού ύπαρξης του πιθανού γεωθερμικού πεδίου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί προκαταρκτικά η περιοχή, με χρήση τεχνικών τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης σε συνδυασμό με την αξιολόγηση τιμών συγκέντρωσης ραδιενέργειας από το ραδόνιο που προέκυψαν από μετρήσεις σε δείγματα υδρογεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής.

Πιο συγκεκριμένα, στη παρούσα μελέτη κατασκευάστηκε το τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο της περιοχής των νότιων παρυφών της υπολεκάνης των Μοιρών (οικισμοί Μοίρες, Πόμπια, Αληθινή και Πέρι). Η κατασκευή βασίστηκε στη συλλογή και ψηφιοποίηση δεδομένων σαραντατεσάρων (44) γεωτρήσεων και ένδεκα (11) βυθοσκοπήσεων και στην χωρική επεξεργασία τους με το λογισμικό Rockworks 15. Με τη μεθοδολογία αυτή έγινε ο καθορισμός των πιθανών ρηγμάτων, της περιοχής και μια πρώτη προσέγγιση για τον καθορισμό της χωρικής τοποθέτησης των περατών και μη σχηματισμών, δημιουργώντας μια πληρέστερη εικόνα του τεκτονοστρωματογραφικού καθεστώτος της περιοχής.

Μετρήσεις ραδονίου σε δείγματα νερού από υδρογεωτρήσεις στην περιοχή επιβεβαιώνουν την ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών (μέγιστη μετρηθείσα θερμοκρασία 28,9 °C). Οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας από το ραδόνιο είναι σχετικά χαμηλές (4.000 – 5.000 Bq/m³). Ο συνδυασμός όλων των ανωτέρω ενδυναμώνει τις αρχικές ενδείξεις για την ύπαρξη πιθανού γεωθερμικού πεδίου στην περιοχή που απαιτεί περαιτέρω τεκτονική, γεωφυσική και υδρογεωλογική έρευνα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στην Ερευνητική Μονάδα Γεωλογίας, της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να αναφερθώ και να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους χωρίς τη σημαντική βοήθεια των οποίων θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα στην εκπόνηση αυτής της διατριβής ειδίκευσης, καθηγητή Μανούτσογλου Εμμανουήλ, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου τα χρόνια που υπήρξα μεταπτυχιακή φοιτήτρια της σχολής, τη θερμή υποστήριξη του και τη διάθεση του εξοπλισμού της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας, της Σχολής Ορυκτών Πόρων.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον καθηγητή Βαφείδη Αντώνιο και τον επίκουρο καθηγητή Στειακάκη Εμμανουήλ, για την πολύτιμη βοήθεια τους και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστίες οφείλω στους κυρίους Νίκο Γιαμπουλάκη, Μανώλη Χουστουλάκη και στον κύριο Νίκο Μαυρουδάκη για την υπόδειξη των γεωτρήσεων όπου έλαβαν χώρα οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας και για τη φιλοξενία τους.

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής, Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, συνάδελφο και φίλο, Παναγόπουλο Γεώργιο, για την εκμάθηση του λογισμικού Rockworks, τις πολύωρες συζητήσεις για θέματα και προβληματισμούς που προέκυπταν κατά την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και για την υποστήριξη του.

Την υποψήφια διδάκτωρ της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, συνάδελφο και φίλη, Λεοντοπούλου Γεωργία, για τη συμπαράσταση και υποστήριξη από την αρχή των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Τον υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής, Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πυλιώτη Ιωάννη για την στήριξη και βοήθεια σε θέματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για την οικονομική και ψυχική στήριξη που μου προσφέρουν απλόχερα και ανιδιοτελώς από τη πρώτη μέρα των σπουδών μου, και τον αγαπητό Καραβά Αντώνιο για τη συμπαράσταση, κατανόηση και υπομονή του στη διάρκεια αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xii
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	3
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.....	3
2.2 Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ	3
2.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.....	5
2.4 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.....	8
2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	11
2.5.1. Αλπικοί σχηματισμοί.....	11
2.5.2 Νεογενείς σχηματισμοί.....	13
• 2.5.2.1 Ομάδα Τεφελίου.....	13
• 2.5.2.2 Ομάδα Βρυσών.....	15
• 2.5.2.3 Ομάδα Φοινικιάς	16
• 2.5.2.4 Ομάδα Αγίας Γαλήνης.....	16
2.5.3 Τεταρτογενείς σχηματισμοί.....	17
2.5.5 Σχηματικές τομές λεκάνης Μεσσαράς	20
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	24
3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	25
3.1.1 Θερμότητα	25
3.1.2 Ενθαλπία.....	25
3.1.3 Θερμική αγωγιμότητα.....	26
3.1.4 Γεωθερμική Βαθμίδα	26
3.1.5 Θερμική Ροή	27
3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	27
3.2.1 Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού πεδίου.....	27
• 3.2.1.1 Διαδικασίες θέρμανσης ρευστών	28
• 3.2.1.2 Διάκριση γεωθερμικών πεδίων	29
3.3 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	29

3.3.1 Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας.....	29
• 3.3.1.1 Συστήματα που περιέχουν ατμό	29
• 3.3.1.2 Συστήματα που περιέχουν νερό	30
3.3.2 Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων μέσης και χαμηλής ενθαλπίας	32
3.4 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	33
3.5 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	34
3.5.1 Οι γεωθερμικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.....	36
3.6 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	38
3.6.1 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας	38
3.6.2 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας.....	39
3.6.3 Εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας.....	40
3.7 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	40
4. ΤΟ ΡΑΔΟΝΙΟ	41
4.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ	41
4.1.1 Το θορόνιο	42
4.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ	43
4.2.1 Απορροή	43
4.2.2 Μεταφορά.....	45
4.2.3 Εκπονή.....	45
4.3 ΤΟ ΡΑΔΟΝΙΟ ΣΤΟ ΝΕΡΟ	46
4.3.1 Το ραδόνιο στο υπόγειο νερό	46
4.4 Η ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ	47
4.4.1 Διάδοση σε εσωτερικούς χώρους	48
• 4.4.1.1 Τα πετρώματα και το έδαφος	48
• 4.4.1.2 Τα οικοδομικά υλικά	49
• 4.4.1.3 Παροχές νερού.....	49
• 4.4.1.4 Ατμοσφαιρικός Αέρας.....	50
• 4.4.1.5 Παροχές φυσικού αερίου.....	50
4.4.2 Αποτελέσματα του ραδονίου στην υγεία.....	50
4.5 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	51
4.5.1 Πρόγνωση σεισμών	51
4.5.2 Ανίχνευση κοιτασμάτων ουρανίου	51
4.5.3 Έρευνα γεωθερμικών πεδίων.....	52

4.5.4 Ανίχνευση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων	52
4.5.4 Εντοπισμός ρηγμάτων	52
4.6 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	53
4.6.1 Τεχνικές μέτρησης συγκεντρώσεων του ραδονίου.....	53
• 4.6.1.1 Οι κυριότερες τεχνικές παθητικών ανιχνευτών.....	54
• 4.6.1.2 Τεχνική ενεργητικών ανιχνευτών.....	55
4.6.2 Τιμές συγκεντρώσεων ραδονίου σε υδάτινα δείγματα στον Ελληνικό χώρο.....	56
4.6.3 Παρουσίαση συσκευής μέτρησης.....	59
• 4.6.3.1 Αρχή λειτουργίας- συνδεσμολογία μετρητικής διάταξης	60
4.6.4 Η διαδικασία της μέτρησης	62
5. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	63
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	63
5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	63
5.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	64
5.3.1 Η μέθοδος απόδοσης τιμών αντιστρόφων αποστάσεων.....	65
5.3.2 Kriging.....	66
5.4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	66
5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	70
5.6 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS	72
6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	75
6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	76
6.1.1 Συγκέντρωση και τροποποίηση δεδομένων	77
6.1.2 Λιθοστρωματογραφική επισκόπηση.....	81
• 6.1.2.1 Κατασκευή τρισδιάστατου λιθοστρωματογραφικού μοντέλου	81
• 6.1.2.2 Έλεγχος αξιοπιστίας του προκύπτοντος λιθοστρωματογραφικού μοντέλου	88
• 6.1.2.3 Καθορισμός πιθανών ρηγμάτων μέσω κατασκευής χαρτών ισοπαχών .	90
• 6.1.2.4 Κατασκευή χαρτών ισοπαχών	99
• 6.1.2.5 Κατασκευή λιθολογικού μοντέλου.....	100
6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΡΑΔΟΝΙΟ	104
6.2.1 Παρουσίαση μετρήσεων	104
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	119
Π.1 Εισαγωγή	119
Π.2 Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων με το λογισμικό Rockworks 15	119
Π.3 Καθορισμός διαστάσεων περιοχής μελέτης- το πεδίο Project Dimensions	120
Π.4 Η υποσελίδα Borehole Manager	120
Π.4.1 Το κύριο menu Map	125
Π.4.2 Το κύριο menu Striplogs	127
Π.4.3 Το κύριο menu Stratigraphy	138
Π.4.4 Το κύριο menu Lithology	152
Π.5 Η υποσελίδα Rock Ware Utilities	161
Π.5.1 Δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφανείας	162

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 2.1 Γεωγραφικός χάρτης της Κρήτης (Κρινής, 2009).....	3
Εικόνα 2.2 Γεωγραφικός – γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης Μεσσαράς με κλίμακα υψομέτρου (Κρινής, 2009). Ο κόκκινος κύκλος περικλείει την ευρύτερη περιοχή της Πόμπιας.....	4
Εικόνα 2.3 Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες σχηματισμών του Νεογενούς και το προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αναφορά τη κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και την αλληλοπαρεμβολή τους (Meulenkamp, 1979)	8
Εικόνα 2.4 (α) Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης της Ν. Κρήτης και (β) η θέση της σε σχέση με το Ελληνικό τόξο και τις κυριότερες τεκτονο-στρωματογραφικές δομές του (η σύγχρονη σύγκλιση των τεκτονικών πλακών- <i>κόκκινες γραμμές</i> , το σύγχρονο και παλαιότερο ηφαιστειακό τόξο- <i>κόκκινα και πράσινα τρίγωνα</i> , τα κύρια μέτωπα επωθήσεων των εξωτερικών Ελληνίδων - <i>Ιόνια και Παξοί πράσινα, Πίνδος μπλε</i> , τις Πλειο-Τεταρτογενείς θαλάσσιες λεκάνες της κεντρικής Ελλάδας- <i>ροζ</i> , οι κύριες σύγχρονες θαλάσσιες λεκάνες-γκρι, οι μεγάλες επιφάνειες αποκόλλησης Μειοκαινικής ηλικίας- <i>πράσινες γραμμές με το βέλος να δείχνει τη φορά μέγιστης κλίσης</i> (Βασιλάκης, 2006).	10
Εικόνα 2.5 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Πόμπιας κλίμακας 1:50000, βασιζόμενος στη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ.	19
Εικόνα 2.6 Γεωλογική τομή λεκάνης Μεσσαράς (Δ-Α), (Κριτσωτάκης, 2009). Η θέση της παρουσιάζεται στο χάρτη 2.9 με το Νο1.	21
Εικόνα 2.7 Γεωλογική τομή Πόμπια – Μοίρες (ΝΝΔ- ΒΒΑ), (Κριτσωτάκης, 2009). Η θέση της παρουσιάζεται στο χάρτη 2.9 με το Νο 2.	21

Εικόνα 2.8 Γεωλογική τομή Πετροκεφάλι- Καλυβιανή (B-N), (Κριτσωτάκης, 2009). Η θέση της παρουσιάζεται στο χάρτη 2.9 με το Νο3.	22
Εικόνα 2.9 Ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓ.ΜΕ της ευρύτερης περιοχής μελέτης, από φύλλο Τυμπάκιον κλίμακας 1:50.000. Στο πλαίσιο η περιοχή μελέτης.	23
Εικόνα 3.1 Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος υψηλής ενθαλπίας α) με ατμό β) με νερό (Φυτίκας κ.α., 2004).	32
Εικόνα 3.2 Σχηματική παράσταση γεωθερμικού μοντέλου χαμηλής ενθαλπίας σε λεκάνη από τεκτονική βύθιση. Τα θερμά ρευστά βρίσκονται ή κυκλοφορούν σε κροκαλοπαγή της λεκάνης, στην οροφή του υποβάθρου, μέσα στα ιζήματα ή κοντά σε ρήγματα. Τα βέλη δείχνουν την υπόγεια κυκλοφορία και τα ρεύματα μεταφοράς (Φυτίκας κ.α., 2004).	33
Εικόνα 3.3 Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Ελλάδας (ΙΓΜΕ)[2]	36
Εικόνα 3.4 Γεωλογική σχηματική τομή της περιοχής των Μοιρών (Peterek et al., 2004 μετά από επεξεργασία)	37
Εικόνα 3.5 Διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (Τσελεπίδου, 2008).	38
Εικόνα 4.1 Σχηματικό διάγραμμα διάσπασης ^{226}Ra και ^{224}Ra . Δίπλα στα θυγατρικά ισότοπα αναγράφονται οι χρόνοι ημιζωής. Δίπλα από τα βέλη που δείχνουν τις διασπάσεις σημειώνεται το είδος της διάσπασης (Στούλος, 1998)	42
Εικόνα 4.2 Απορροή στους πόρους του εδάφους και εκπνοή στην ατμόσφαιρα του ραδονίου (Στούλος, 1998).	43
Εικόνα 4.3 Διαδικασία εκπομπής και απορροής ραδονίου (Durrani et al., 1997)	44
Εικόνα 4.4 Η μετρητική συσκευή RTM-1688-2	59
Εικόνα 4.5 Σχέδιο μετρητικής διάταξης RTM-1688-2	61
Εικόνα 5.1 Κάτοψη του ψηφιακού μοντέλου, όπου διακρίνονται ρήγματα διαφορετικής ηλικίας, τύπου, διεύθυνσης κ.τ.λ. Στα σημεία διασταυρώσεων (περικλείονται με μαύρες γραμμές) τοποθετούνται οι τρεις πιο πιθανές περιοχές για αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας (Bartucz, 2009).	71
Εικόνα 5.2 Περιβάλλον εργασίας της σελίδας Borehole data manager	73
Εικόνα 5.3 Περιβάλλον εργασίας της σελίδας Borehole Utilities	74
Εικόνα 6.1 Κατανομή των γεωτρήσεων, βυθοσκοπήσεων και περίγραμμα της περιοχής έρευνας. Με τεφρό παρουσιάζεται το υπόβαθρο που εμφανίζεται επιφανειακά	78
Εικόνα 6.2 Κατηγοριοποίηση των λιθολογικών και στρωματογραφικών περιγραφών όπως προέκυψαν από τις περιγραφές των γεωτρητικών στηλών. Το ποσοστό πλήρωσης του	

μοτίβου των λιθολογιών, όπως εμφανίζεται στη δεύτερη στήλη, εκφράζει κοκκομετρική διαβάθμιση.....	80
Εικόνα 6.3 Τρισδιάστατο πλεγματοτικό μοντέλο της επιφάνειας της περιοχής μελέτης με τοπογραφικό ανάγλυφο και με κατακόρυφη υπερύψωση x5 (vertical exaggeration).....	82
Εικόνα 6.4 Διάγραμμα μοντέλου με παρεμβολή τριγωνοποίησης, συνοριακών κόμβων, υπέρθεση, με ανώτατο όριο το μοντέλο επιφανείας, πολυγωνικό φίλτρο και με κατακόρυφη υπερύψωση x6 (vertical exaggeration).....	83
Εικόνα 6.5 Διάγραμμα μοντέλου με παρεμβολή τριγωνοποίησης, συνοριακών κόμβων, υπέρθεση, με ανώτατο όριο το μοντέλο επιφανείας, πολυγωνικό φίλτρο, προβολή των γεωτρήσεων και με κατακόρυφη υπερύψωση x6 (vertical exaggeration).....	83
Εικόνα 6.6 Διάγραμμα συνδυαστικών στρωματογραφικών τομών πολλαπλών διευθύνσεων, με κατακόρυφη υπερύψωση x6. (Εντολή Stratigraphy / Fence / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ.παράγραφο Π.4.3)	84
Εικόνα 6.7 Περιοχή έρευνας και οι διευθύνσεις των τομών	84
Εικόνα 6.8 Διάγραμμα στρωματογραφικής τομής διεύθυνσης Α – Δ (εντολή Stratigraphy / Section / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ παράγραφο Π.4.3)	85
Εικόνα 6.9 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής.....	85
Εικόνα 6.10 Διάγραμμα στρωματογραφικής τομής διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ (εντολή Stratigraphy / Section / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ παράγραφο Π.4.3) ..	86
Εικόνα 6.11 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής.....	86
Εικόνα 6.12 Διάγραμμα στρωματογραφικής τομής διεύθυνσης ΒΒΔ – ΝΝΑ (εντολή Stratigraphy / Section / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ παράγραφο Π.4.3) ..	87
Εικόνα 6.13 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής.....	87
Εικόνα 6.14 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου και η τοπογραφία της περιοχής. Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης παρουσιάζονται οι 44 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης. Με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα έτσι όπως προκύπτουν από το χάρτη του ΙΓΜΕ.	91
Εικόνα 6.15 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών σχηματισμών και η τοπογραφία της περιοχής. Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης, παρουσιάζονται οι 44 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης. Με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα έτσι όπως προκύπτουν από το χάρτη του ΙΓΜΕ.	91
Εικόνα 6.16 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου (α) και της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς (β) και η τοπογραφία της περιοχής (μαύρες και γκρι γραμμές). Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης παρουσιάζονται	

και οι σαράντα τέσσερις (44) γεωτρήσεις. Οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τα ρήγματα σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓ.ΜΕ., ενώ οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα πιθανά ρήγματα έτσι όπως προέκυψαν από την ερμηνεία των ισοβαθών χαρτών.	93
Εικόνα 6.17 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου (a) και της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς (b) και η τοπογραφία της περιοχής (μαύρες και γκρι γραμμές). Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης παρουσιάζονται και οι σαράντα τέσσερις (44) γεωτρήσεις. Οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τα ρήγματα σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓ.ΜΕ., ενώ οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα πιθανά ρήγματα έτσι όπως προέκυψαν από την ερμηνεία των ισοβαθών χαρτών. Εντός μαύρων πλαισίων τα ρήγματα που εντοπίζονται και στο Νεογενές και στο υπόβαθρο.	95
Εικόνα 6.18 Τρισδιάστατη απεικόνιση των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν από το χάρτη ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου. Τα ρήγματα απεικονίζονται με τη μορφή δίσκων με κατακόρυφη υπερύψωση πάνω από την επιφάνεια που οριοθετεί την ενότητα του Νεογενούς και του Πλειο-τεταρτογενούς αλλά και πάνω από την τοπογραφική για λόγους που περιορίζονται από το λογισμικό	96
Εικόνα 6.19 Τρισδιάστατη απεικόνιση των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν από το χάρτη ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών. Τα ρήγματα απεικονίζονται με τη μορφή δίσκων με κατακόρυφη υπερύψωση πάνω από την επιφάνεια που οριοθετεί την ενότητα του Νεογενούς και του Πλειο-τεταρτογενούς αλλά και πάνω από την τοπογραφική για λόγους που περιορίζονται από το λογισμικό	97
Εικόνα 6.20 Ροδόγραμμα ρηγμάτων υποβάθρου (πλήθος ρηγμάτων=10).....	98
Εικόνα 6.21 Ροδόγραμμα ρηγμάτων Νεογενούς (πλήθος ρηγμάτων=17)	98
Εικόνα 6.22 Χάρτης ισοπαχών του συνόλου των Πλειο-Τεταρτογενών αποθέσεων. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα.....	99
Εικόνα 6.23 Χάρτης ισοπαχών του συνόλου των Νεογενών αποθέσεων. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα.	100
Εικόνα 6.24 Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο περιορισμένο εντός της ανώτερης και κατώτερης επιφάνειας του Πλειο – Τεταρτογενούς. Στο υπόμνημα οι λιθολογίες που εντοπίστηκαν	101
Εικόνα 6.25 Διάγραμμα λιθολογικής τομής διεύθυνσης Δ – Α (εντολή Lithology / Section – βλ παράγραφο Π.4.4).....	101
Εικόνα 6.26 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής	102
Εικόνα 6.27 Χάρτης ισοπαχών των λεπτόκοκκων αποθέσεων με τις υπάρχουσες γεωτρήσεις. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα.	102

Εικόνα 6.28 Χάρτης ισοπαχών των αδρόκοκκων αποθέσεων με τις υπάρχουσες γεωτρήσεις. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα	103
Εικόνα 6.29 Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης με τις υδρογεωτρήσεις όπου μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις ραδονίου	105
Εικόνα Π.1 Δημιουργία New Project	119
Εικόνα Π.2 Το menu Project Dimensions στο Borehole Manager.....	120
Εικόνα Π.3 Η Υποσελίδα Borehole Manager	121
Εικόνα Π.4 Η καρτέλα Location	122
Εικόνα Π.5 Η καρτέλα Lithology	123
Εικόνα Π.6 Ο πίνακας λιθολογιών	123
Εικόνα Π.7 Η καρτέλα Stratigraphy.....	124
Εικόνα Π.8 Το παράθυρο ρυθμίσεων του Borehole Location και το υπό-menu Borehole Symbols and labels	126
Εικόνα Π.9 Ο χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων έτσι όπως σχεδιάστηκε με την εντολή Borehole Location	126
Εικόνα Π.10 Επιλογή Striplogs>Single Log (2D).....	127
Εικόνα Π.11 Καρτέλα ρυθμίσεων δισδιάστατης απεικόνισης γεώτρησης.....	128
Εικόνα Π.12 Απεικόνιση στρωματογραφίας και λιθολογίας γεωτρήσεων	129
Εικόνα Π.13 Παράθυρο ρυθμίσεων 3D Stripolog.....	130
Εικόνα Π.14 Καρτέλα ρυθμίσεων τρισδιάστατης απεικόνισης γεώτρησης.....	131
Εικόνα Π.15 Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας γεώτρηση	131
Εικόνα Π.16 Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφίας γεώτρησης.....	132
Εικόνα Π.17 Menu ρυθμίσεων Multilog Profile	133
Εικόνα Π.18 Καθορισμός των στοιχείων που θα εμφανίζονται περιμετρικά του προφίλ..	134
Εικόνα Π.19 Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού προφίλ πολλαπλών γεωτρήσεων.....	135
Εικόνα Π.20 Δημιουργία λιθολογικού προφίλ πολλαπλών γεωτρήσεων. Η κόκκινη γραμμή που διέρχεται από το ανώτερο τμήμα των λιθολογικών στηλών αποτελεί την τοπογραφική επιφάνεια κατά μήκος της γραμμής του προφίλ.....	135
Εικόνα Π.21 Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού πολλαπλών γεωτρήσεων προφίλ με την εντολή Multilog Section	136
Εικόνα Π.22 Στρωματογραφικό προφίλ πολλαπλών γεωτρήσεων με την εντολή Multilog Section	137
Εικόνα Π.23 Στρωματογραφία γεωτρήσεων σε τρεις διαστάσεις.....	138

Εικόνα Π.24 Παράθυρο εντολών για την κατασκευή τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου	139
Εικόνα Π.25 Παράθυρο επιλογών Gridding Options με τις επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για την κατασκευή του στρωματογραφικού μοντέλου.	140
Εικόνα Π.26 Η χρήση του φίλτρου Polygon (εικόνα από tutorial RockWorks)	141
Εικόνα Π.27 Η εντολή Baseplate (εικόνα από tutorial RockWorks)	141
Εικόνα Π.28 Τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο	142
Εικόνα Π.29 Επιλογή του Stratigraphy Profile	143
Εικόνα Π.30 Stratigraphy Profile	144
Εικόνα Π.31 Παράθυρο επιλογών του Stratigraphy Section και ο χάρτης με την γραμμή κατά την οποία θα σχεδιαστεί η δισδιάστατη απεικόνιση.....	145
Εικόνα Π.32 Τομή τύπου Section.....	146
Εικόνα Π.33 Παράθυρο επιλογών του Stratigraphy Fence και ο χάρτης με την γραμμή κατά την οποία θα σχεδιαστεί η δυσδιάστατη απεικόνιση.....	147
Εικόνα Π.34 Τομές τύπου Fence	148
Εικόνα Π.35 Εντολές για την κατασκευή ενός χάρτη ισοπαχών.....	149
Εικόνα Π.36 Χάρτης ισοπαχών καμπύλων Νεογενών αποθέσεων	150
Εικόνα Π.37 Εντολές για την κατασκευή ενός χάρτη ισοβαθών.	151
Εικόνα Π.38 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου, με τις δεδομένες γεωτρήσεις	152
Εικόνα Π.39 Παράθυρο ρυθμίσεων για τη δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου	153
Εικόνα Π.40 Η χρήση της εντολής Randomize Blending (εικόνα από tutorial Rockworks)	154
Εικόνα Π.41 Τρισδιάστατο Λιθολογικό Μοντέλο.....	155
Εικόνα Π.42 Παράθυρο εντολών για τη δημιουργία λιθολογικού profile τύπου Section.	156
Εικόνα Π.43 Λιθολογικό profile τύπου Section	157
Εικόνα Π.44 Ρυθμίσεις εντολής Fence	158
Εικόνα Π.45 Λιθολογικό profile τύπου Fence	159
Εικόνα Π. 46 Ρυθμίσεις εντολής Isopach	160
Εικόνα Π. 47 Χάρτης ισοπαχών των λεπτόκοκκων Πλειο- Τεταρτογενών αποθέσεων, με το περίγραμμα του υποβάθρου και τις δεδομένες γεωτρήσεις.....	161
Εικόνα Π.48 Το αρχικό περιβάλλον της υποσελίδας Utilities	162
Εικόνα Π.49 Παράθυρο εισαγωγής αρχείου.....	163

Εικόνα Π.50 Εισαγωγή αρχείου ASCII	163
Εικόνα Π.51 Η εντολή σχεδίασης τρισδιάστατου και δισδιάστατου μοντέλου εδάφους...	164
Εικόνα Π.52 Επιλογές εντολής Grid-Based Map	165
Εικόνα Π.53 Παράθυρο Gridding Options	166
Εικόνα Π.54 Παράθυρο 3-D Surface Options	167
Εικόνα Π.55 Το παράθυρο επιλογών του κελιού	168
Εικόνα Π.56 Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας, με κατακόρυφη υπερύψωση x5.	169
Εικόνα Π.57 Η επιλογή Grafix > 3D Utilities > Discs	170
Εικόνα Π.58 Παράθυρο επιλογών Discs	170
Εικόνα Π. 59 Τρισδιάστατη απεικόνιση δίσκων που αναπαριστούν τα ρήγματα τα οποία εντοπίστηκαν στην ενότητα των Νεογενών.	171
Εικόνα Π. 60 Χάρτης αερομαγνητικών του ΙΓ.ΜΕ για την περιοχή μελέτης , (Νικολάου, 1994).....	172

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα εκτιμώμενων τιμών (calculated) προς πραγματικών τιμών (observed) της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου.	88
Διάγραμμα 6.2 Ιστόγραμμα απόκλισης των εκτιμώμενων τιμών από τις πραγματικές της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου.....	89
Διάγραμμα 6.3 Διάγραμμα εκτιμώμενων τιμών (calculated) προς πραγματικών τιμών (observed) της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς	89
Διάγραμμα 6.4 Ιστόγραμμα απόκλισης των εκτιμώμενων τιμών από τις πραγματικές της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου.....	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων του ραδονίου σε νερό στην Ελλάδα	56
Πίνακας 6.1 Τιμές ηλεκτρικής αντίστασης και οι αντίστοιχες λιθολογίες.....	79
Πίνακας 6.2 Μετρηθείσες τιμές σε υδάτινα δείγματα γεωτρήσεων	104

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ύπαρξη ενός πιθανού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας στη νότια περιοχή των Μοιρών, η οποία τοποθετείται στη λεκάνη της Μεσσαράς στην Κρήτη, αναφέρθηκε σε μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε (Νικολάου, 1994). Στη μελέτη αυτή, προτείνεται η διερεύνηση του πιθανού γεωθερμικού πεδίου, το οποίο όπως αναφέρεται, φαίνεται να αναπτύσσεται σε μεγάλες διαστάσεις. Την ύπαρξη πηγών με αυξημένες θερμοκρασίες, επιβεβαιώνουν και προσωπικές μαρτυρίες γεωλόγων, πλησίον των οικισμών Πόμπια και Αληθινή. Τα παραπάνω αποτέλεσαν έναυσμα για τη πραγματοποίηση μελέτης με σκοπό να προσδιοριστούν όλες εκείνες οι γεωλογικές παράμετροι που σχετίζονται με προέλευση πιθανών γεωθερμικών ρευστών στη νότια περιοχή των Μοιρών της λεκάνης της Μεσσαράς.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να συμβάλει στην αποσαφήνιση της τεκτονοστρωματογραφικής διάρθρωσης της πεδινής περιοχής νότια των Μοιρών που γειτνιάζει με τις βόρειες παρυφές των Αστερουσίων ορέων. Ιδιαίτερα στην περιοχή αυτή δεν υπάρχουν πρόσφορα γεωλογικά στοιχεία δεδομένου ότι καλύπτεται από πρόσφατες αποθέσεις. Οι πληροφορίες αυτές θα συμβάλουν στον προσδιορισμό των προκαταρκτικών στοιχείων του υπό μελέτη πιθανού γεωθερμικού πεδίου.

Η διάρθρωση της διατριβής έχει ως εξής: Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται τα γεωγραφικά, γεωλογικά και γεωτεκτονικά στοιχεία της νήσου Κρήτης, ενώ αναλύονται οι επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή μελέτης έτσι όπως αυτές αναλύονται βιβλιογραφικά.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις κατηγορίες των γεωθερμικών πεδίων, και τους μηχανισμούς λειτουργίας τους, στο γεωθερμικό καθεστώς της Ελλάδας γενικότερα, αλλά και της περιοχής μελέτης. Ενώ, αναφέρονται οι χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών και οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά το ραδόνιο, τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες, τους τρόπους με τους οποίους διαδίδεται, τις εφαρμογές που βρίσκει η έρευνα του ραδονίου στη γεωλογία καθώς και τις τεχνικές μέτρησης και τα χαρακτηριστικά των πιο διαδιδόμενων ανιχνευτών. Επιπλέον, γίνεται παρουσίαση της μετρητικής διάταξης η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και περιγράφεται η διαδικασία της λήψης των μετρήσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικές αρχές της τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης, ενώ γίνεται μια ανασκόπηση στην υπάρχουσα βιβλιογραφία για τους τρόπους και τις μεθόδους με τις οποίες προσεγγίζεται το θέμα της τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης σε γεωθερμικά πεδία.

Το έκτο κεφάλαιο περιγράφει τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Αναφέρεται το σύνολο των εργασιών που έλαβαν χώρα τόσο κατά τη προσομοίωση, όσο και κατά αξιολόγηση των μετρήσεων των συγκεντρώσεων του ραδονίου, καθώς και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τις εργασίες αυτές.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα εργασία και γίνονται ορισμένες προτάσεις για την περαιτέρω αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί του ελλαδικού χώρου και βρίσκεται στα νότια του Αιγαίου πελάγους. Πρόκειται για μια επιμήκη χερσαία περιοχή με γενική διεύθυνση Α-Δ, με το Κρητικό πέλαγος να βρέχει τις βόρειες ακτές του νησιού και το Λιβυκό πέλαγος να βρέχει τις νότιες. Οι μεγαλύτερες πόλεις βρίσκονται στη βόρεια πλευρά του και είναι από τα δυτικά προς τα ανατολικά τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο, ο Αγ. Νικόλαος και η Σητεία, οι οποίες αποτελούν και λιμάνια που συνδέοντας το νησί με την ηπειρωτική Ελλάδα. Κατά μήκος της νότιας ακτογραμμής συναντώνται μικρότερες πόλεις (Ιεράπετρα, Αγία Γαλήνη, Χώρα Σφακίων).

Οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι στο νησί είναι τρεις. Τα Λευκά όρη, (2.452 m), στο δυτικό τμήμα της Κρήτης, νότια της πόλης των Χανίων. Ο Ψηλορείτης (Ιδη) (2.456 m) βρίσκεται στην κεντρική Κρήτη, μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Ρεθύμνου και το όρος Δίκτη (2.148 m) βρίσκεται μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, όπου έχει δημιουργηθεί το μεγάλης έκτασης οροπέδιο του Λασιθίου.

Ενδιάμεσα των ορεινών όγκων βρίσκονται οι λεκάνες του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου και της Ιεράπετρας με μέση διεύθυνση Β-Ν. Ενώ με διεύθυνση κάθετη σε αυτή και στην περιοχή νότια του Ηρακλείου, έχει δημιουργηθεί η λεκάνη της Μεσσαράς, η οποία αποτελεί και την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.

2.2 Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί την πεδιάδα η οποία ανήκει στην ευρύτερη λεκάνη της Μεσσαράς. Η πεδιάδα καλύπτει έκταση 398 km² (Croke et al., 2000) ενώ ολόκληρη η λεκάνη περίπου 1005 km² (Κρινής, 2009). Ανήκει διοικητικά στην Περιφέρεια Κρήτης και πιο συγκεκριμένα στο Νομό Ηρακλείου ενώ βρίσκεται σε απόσταση 50km νότια από την πόλη του Ηρακλείου (εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Γεωγραφικός χάρτης της Κρήτης (Κρινής, 2009)

Η λεκάνη της Μεσσαράς βρίσκεται γεωγραφικά μεταξύ $34^{\circ}55'$ και $35^{\circ}15'$ Βόρεια του Ισημερινού και $24^{\circ}45'$ και $25^{\circ}25'$ Ανατολικά του Γκρίνουιτς. Οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους: α) Ίδη (2.456 m) στο βορειοδυτικό τμήμα β) Αστερούσια Όρη (1.231 m) στο νότιο τμήμα και γ) Δίκτη (2.148 m) στο ανατολικό τμήμα, ενώ στο δυτικό τμήμα οριοθετείται από την περιοχή της Φαιστού και στο νοτιοανατολικό τμήμα το χωριό Δεμάτι.

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 445 m και η μέση κλίση 23,7% (Κρινής 2009). Το ανάγλυφο είναι αρκετά έντονο με ήπιες έως μηδενικές κλίσεις στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, έντονες κλίσεις στα πιο ορεινά τμήματα, όπως το βορειοδυτικό και το νότιο, και πολύ έντονες κλίσεις στο ανατολικό τμήμα (εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2 Γεωγραφικός – γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης Μεσσαράς με κλίμακα υψομέτρου (Κρινής, 2009). Ο κόκκινος κύκλος περικλείει την ευρύτερη περιοχή της Πόμπιας

Από τη λεκάνη της Μεσσαράς διέρχονται δύο μεγάλοι ποταμοί, ο Γεροπόταμος (38,4 km) και ο Αναποδιάρης (46 km) που αποστραγγίζουν τη δυτική και ανατολική λεκάνη της Μεσσαράς αντίστοιχα. Άλλοι σημαντικοί ποταμοί της λεκάνης είναι οι δύο παραπόταμοι του Γεροποτάμου, ο Κατσουλίδης και ο Ληθαίος και οι δύο παραπόταμοι του Αναποδιάρη, ο Βαρύτης και ο Κολοκυθάς.

2.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από τη «λεπιοειδή» ανάπτυξη αλληπάλληλων επωθημένων τεκτονικών καλυμμάτων των Ελληνίδων ζωνών, που κάθε ένα από αυτά συγκροτείται από διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς και τα οποία συνωθούνται στο μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού, με γενική κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο.

Η γενικότερη πολύπλοκη δομή της νήσου, με τη λεπιοειδή διάταξη είναι αποτέλεσμα τόσο των τεκτονικών διεργασιών που κορυφώθηκαν στο Τριτογενές και σχετίζονται με την υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, όσο και με διαρκή τεκτονική δραστηριότητα ακόμα και στη μεταλλική περίοδο.

Γενικά, όπως αναφέρεται στην εργασία του Φυτρολάκη, (2008) *η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα Κρήτης – Μάνης ή ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) και τους υποκείμενους ασβεστόλιθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστόλιθων. Στην ενότητα Κρήτης – Μάνης με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Άνω Ηώκαινο, διακρίνονται οι στρωματογραφικές σειρές Φόδελε, Σισών, Γκιγκιλού και Πλακωδών ασβεστόλιθων, ενώ υπέρκειται όλων μεταφλύσχης.*

Έπειτα, ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλληπαλλήλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων, και με χαρακτηριστική λεπιοειδή διάταξη. Τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο τοποθετούνται με την ακόλουθη σειρά από το υποκείμενο προς το υπερκείμενο:

Ενότητα Τριπαλίου αποτελούμενη από ανθρακικά ιζήματα με κερατολιθικές ενστρώσεις και ηλικία Τριαδικό και Λιάσιο.

Ακολουθώς, η Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίων.

Έπεται η ενότητα Τρίπολης με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχης της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.

Ακολουθεί η Ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της

Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο.

Τέλος, ως τελευταίο κάλυμμα των αλπικών ενοτήτων, παρουσιάζεται η ενότητα Οφειολίθων και Κρυσταλλοσχιστώδων αποτελούμενη κυρίως από οφειόλιθους και μεταμορφωμένα πετρώματα διαφόρων ηλικιών και βαθμού μεταμόρφωσης ενώ περιλαμβάνει ανθρακικά πετρώματα με ηφαιστίτες, φλυσχοειδή ιζήματα καθώς και γρανιτικές διεισδύσεις. Τμήματα του σύνθετου τεκτονικού καλύμματος, αποτελούν οι σειρές Αστερούσιων, Βάτου, Μιάμου και Άρβης.

Οι εφελκυστικές τάσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Κρήτης είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων, ως αποτέλεσμα της δράσης μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις Β-Ν και Α-Δ. Οι κυριότερες λεκάνες που πληρώθηκαν με ιζήματα του Νεογενούς είναι οι λεκάνες Ηρακλείου, Μεσσαράς, Ιεράπετρας και του βορείου τμήματος Νομών Ρεθύμνου και Χανίων. Τα νεογενή αυτά ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς και είναι χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας προέλευσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς την ηλικία τους και ως προς τη λιθολογία τους. Σύμφωνα με τον Meulenkamp, 1979 οι Νεογενείς αυτοί σχηματισμοί χωρίζονται σε λιθοφασικές ομάδες (Εικόνα 2.3):

Η Ομάδα Πρίνα αποτελείται από ασβεστολιθικά μαύρα χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή με ασβεστίτικο υλικό συγκόλλησης ενώ εμπεριέχει ολισθόλιθους προνεογενών ασβεστολίθων. Αποτελεί τη βάση των Νεογενών ιζημάτων στις περιοχές της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, ή μεταβαίνει πλευρικά ως προς την αμέσως Νεότερη. Η ηλικία της Ομάδας Πρίνα προσδιορίζεται στο Μέσο Μειόκαινο και το περιβάλλον απόθεσης χαρακτηρίζεται μη θαλάσσιο ως υφάλμυρο ή ρηχό θαλάσσιο (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).

Η Ομάδα Τεφελίου τοποθετείται ασύμφωνα είτε πάνω στην Ομάδα Πρίνα, είτε απευθείας πάνω στο προνεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από χαλαρά θαλάσσια και ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ. Η ηλικία τους τοποθετείται από το Σερραβάλλιο έως το Άνω Τορτόνιο (Meulenkamp, 1979; Βασιλάκης 2006). Η Ομάδα Τεφελίου αποτελείται από τους σχηματισμούς Βιάννου, Σκινιά και Αμπελούζου.

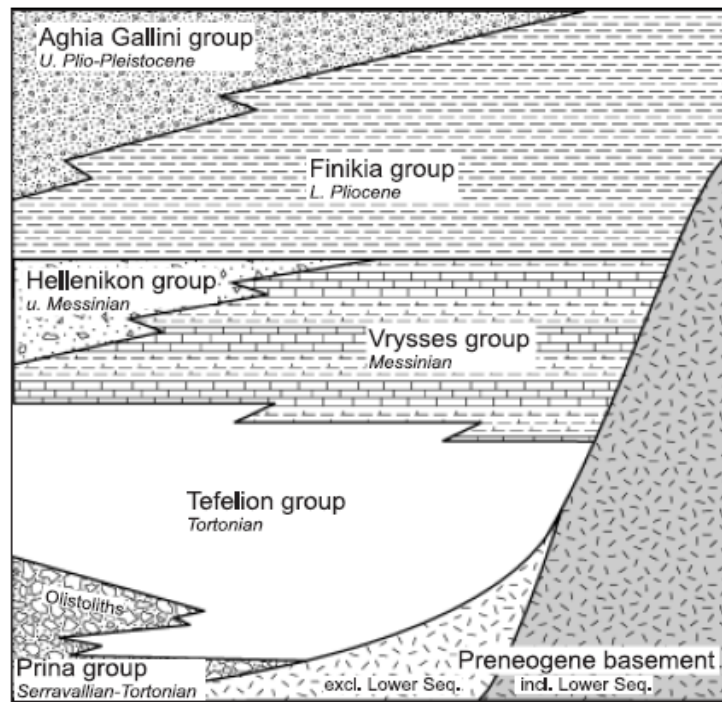
Η Ομάδα Βρυσών συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας και τοποθετείται υπερκείμενη είτε της Ομάδας Τεφελίου είτε του αλπικού υποβάθρου. Αποτελείται από θαλάσσιους βιοκλαστικούς ή υφαλογενής ασβεστόλιθους εναλλαγές φυλλωδών και ομογενών μαργών, οι οποίες κατά τόπους εμπεριέχουν παρεμβολές γύψων.

Η ηλικία της Ομάδας των βρυσών τοποθετείται στο Άνω Τορτόνιο έως το Κάτω Μεσσήνιο (Meulenkamp, 1979).

Η Ομάδα Ελληνικού παρουσιάζεται τοποθετημένη ασύμφωνα σε παλαιότερους Νεογενής σχηματισμούς ή κατά θέσεις, απευθείας επάνω στο υπόβαθρο ή επάνω στην ομάδα Βρυσών στην οποία όμως κατά τόπους παρεμβάλετε. Περιλαμβάνει ερυθρωπά χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες σχετικώς λεπτόκοκκες αποθέσεις και ενίοτε υφάλμυρες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με εμπεριεχόμενα λεπτά στρώματα γύψου. Η Ομάδα Ελληνικού αποτέθηκε κατά τη διάρκεια της κρίσης αλατότητας του Μεσσηνίου με την ηλικία της να προσδιορίζεται στο Άνω Μεσσήνιο. Στις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης δεν υπάρχουν εμφανίσεις της Ομάδας Ελληνικού (Meulenkamp, 1979).

Η Ομάδα Φοινικιάς συντίθεται από το σχηματισμό της Φοινικιάς και τοποθετείται επί των στρωμάτων της Ομάδας Ελληνικού, Βρυσών ή του προνεογενούς υποβάθρου. Αποτελείται από ανοιχτής θάλασσας αργίλους και μάργες οι οποίες ενίοτε παρουσιάζουν πυριτικές ενστρώσεις ενώ τμήμα της βάσης της Ομάδας Φοινικιάς, περιέχει ένα λατυποπαγές αποτελούμενο από ιζήματα του Μειόκαινου και του Κατώτερου Πλειόκαινου. Η ηλικία της Ομάδας της Φοινικιάς είναι Πλειοκαινική (Meulenkamp, 1979).

Η Ομάδα Αγίας Γαλήνης συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης και βρίσκεται υπερκείμενη της Ομάδας της Φοινικιάς και κατά ένα μέρος αποτελεί πλευρική αντιστοιχία της. Εμπεριέχει χονδροκλαστικά υλικά, χερσαία ερυθρά κροκαλοπαγή και ποταμοδελταϊκές άμμους και αργίλους. Αποτελεί την τελευταία ενότητα του Νεογενούς στην Κρήτη η οποία ανήκει στο Άνω Πλειόκαινο ή πιθανά στο Άνω Πλειστόκαινο (Meulenkamp, 1979; ten Veen & Kleinspehn, 2003).



Εικόνα 2.3 Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες σχηματισμών του Νεογενούς και το προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αναφορά τη κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και την αλληλοπαρεμβολή τους (Meulenkamp, 1979)

Επάνω στους σχηματισμούς του Νεογενούς ή απευθείας στο προνεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται ασύμφωνα τα ιζήματα του Τεταρτογενούς. Πρόκειται για συγκολλημένους ή ασύνδετους χερσαίους σχηματισμούς η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Πλειστόκαινο και νεότερη, ενώ οι μορφές τους ποικίλουν σε πλευρικά κορήματα σε κλιτύες, σε αλλουβιακά ριπίδια στις εξόδους χειμάρρων και σε αλλουβιακές αποθέσεις (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).

2.4 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

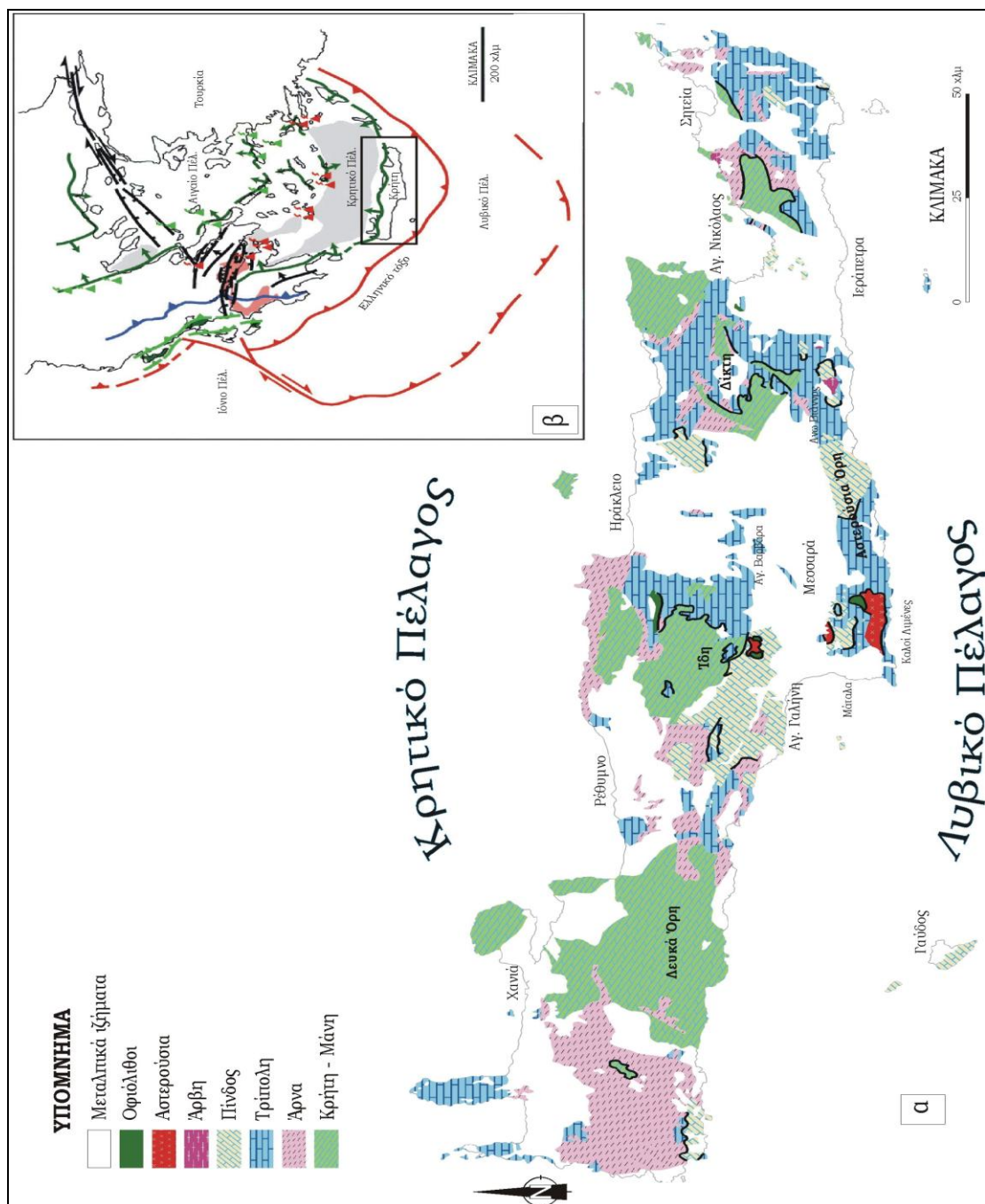
Η Κρήτη είναι μια τεκτονικά πολύπλοκη περιοχή που έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις αλπικές ορογενετικές διαδικασίες στην Ανατολική Μεσόγειο, λόγω της σύγκλισης λιθοσφαιρικής πλάκας της Ευρασίας με την πλάκα της Αφρικής και της καταβύθισης του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος (Bonneau 1984; Lister et al, 1984; Mountrakis et al, 2006; Ring et al, 2010). Χαρακτηρίζεται από πολύπλοκα τεκτονικά γεγονότα όπως η τοποθέτηση των αλληπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων, η συμπίεση που εναλλάσσεται με την έκταση, η κατάρρευση των τεκτονικών καλυμμάτων η εκταφή πετρωμάτων από μεγάλα βάθη (Bonneau 1984; Seidel et al, 1982; Kiliyas et al., 1994, 2002; Jolivet et al, 1996).

Το νησί της Κρήτης βρίσκεται στην περιοχή προ του τόξου πάνω από την ενεργή ζώνη καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα του Αιγαίου (Petereck et al., 2004). Παρουσιάζει NNA κίνηση της τάξης των 30 ± 2 mm/a σε σχέση με τη σταθερή Ευρασία (Oral et al., 1995, Reilinger et al., 1997, Papazachos, 1999, McClusky et al., 2000). Δεδομένου ότι η κίνηση της Αφρικής προς βορρά είναι περίπου 10 mm/a, το συνολικό ποσοστό σύγκλισης πλάκας είναι περίπου 40-45 mm/a. Αυτή η σύγκλιση έχει ως αποτέλεσμα BA-ΝΔ ισχυρή συμπίεση (κάθετη προς το όριο των πλακών Αφρικής - Αιγαίου) και μέτρια έκταση με πεδίο έκτασης παράλληλο του τόξου Α-Δ (Petereck et al., 2004 και αναφορές εντός).

Το ιδιαίτερα ορεινό τοπίο της Κρήτης και οι αποθέσεις από το Μέσο Μειόκαινο έως τις αρχές Πλειοκαίνου, που ανυψώθηκαν έως και αρκετές εκατοντάδες μέτρα πάνω από το σημερινό επίπεδο της θάλασσας, υποδηλώνουν μια πολύ πρόσφατη και γρήγορη ανύψωση. Κατά μήκος του Ελληνικού τόξου και νότια της Κρήτης, η πλάγια σύγκλιση των δύο πλακών εξηγεί την ύπαρξη βυθισμάτων στην προ του τόξου περιοχή, τα οποία ελέγχονται από ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (Petereck et al., 2004 και αναφορές εντός).

Ένας μεγάλος αριθμός από επιφανειακά ίχνη ρηγμάτων φανερώνει μια έντονη τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή. Η παρούσα επιφανειακή παραμόρφωση της νότιο-κεντρικής Κρήτης αποτελεί θέμα προβληματισμού. Έχει προταθεί εφελκυσμός πολλαπλών διευθύνσεων με βάση δεδομένα που προκύπτουν από τις μετατοπίσεις ρηγμάτων τα οποία όμως δύσκολα ερμηνεύονται. Παρόλα αυτά έχει διαπιστωθεί, κατά το Άνω Πλειόκαινο έως το Ολόκαινο, ένας κυρίαρχος εφελκυσμός παράλληλος με το τόξο σύμφωνα με πρόσφατες επιφανειακές διαρρήξεις. Ως η κύρια αιτία της εξέλιξης των Πλειοκαινικών και των νεότερων απομονωμένων λεκανών στην νότιο-κεντρική Κρήτη θεωρείται η παρουσία πλαγίων ρηγμάτων (Petereck et al., 2004 και αναφορές εντός).

Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες (Chatzaras et al 2006; Tortorici et al., 2010; Kokinou et al., 2012; Klein et al., 2012) έχουν προκαλέσει αμφιβολίες σχετικά με το αν ο εφελκυσμός είναι ένα συνεχές μεγάλο τεκτονικό γεγονός, προτείνοντας ότι συμπίεση έχει παίξει κύριο ρόλο μετά το Μέσο Μειόκαινο. Όλες αυτές οι διαφορετικές μελέτες υποστηρίζουν την άποψη ότι η ιδιαίτερη ενεργός τεκτονική της Κρήτης επηρεάζει την ακεραιότητα και τη συνέχεια των στρωματογραφικών ενοτήτων και οδηγεί στη δημιουργία πολλαπλών ρηξιγενών τεμαχών τα οποία φέρνουν σε επαφή διαφορετικές στρωματογραφικές ενότητες.



Εικόνα 2.4 (α) Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης της Ν. Κρήτης και (β) η θέση της σε σχέση με το Ελληνικό τόξο και τις κυριότερες τεκτονο-στρωματογραφικές δομές του (η σύγχρονη σύγκλιση των τεκτονικών πλακών- κόκκινες γραμμές, το σύγχρονο και παλαιότερο ηφαιστειακό τόξο-κόκκινα και πράσινα τρίγωνα, τα κύρια μέτωπα επωθήσεων των εξωτερικών Ελληνιδών -Ιόνια και Παζοί πράσινα, Πίνδος μπλε, τις Πλειο-Τεταρτογενείς θαλάσσιες λεκάνες της κεντρικής Ελλάδας-ροζ, οι κύριες σύγχρονες θαλάσσιες λεκάνες-γκρι, οι μεγάλες επιφάνειες αποκόλλησης Μειοκαινικής ηλικίας-πράσινες γραμμές με το βέλος να δείχνει τη φορά μέγιστης κλίσης (Βασιλάκης, 2006).

2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης συμπεριλαμβάνεται εντός του γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, φύλλο Τυμπάκιον (Bonneau, et al., 1984) που έχει εκδοθεί από το ΙΓΜΕ. Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή, από τον τεκτονικά υπερκείμενο έως τον υποκείμενο αναφέρονται παρακάτω, ενώ παρατίθενται ο γεωλογικός χάρτης βασισμένος στη χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ (εικόνα 2.5) και αυτούσιος ο χάρτης του ΙΓΜΕ (εικόνα 2.9).

2.5.1. Αλπικοί σχηματισμοί

Ενότητα Οφειολίθων και κρυσταλλοσχιστώδων

Το τεκτονικό κάλυμμα των οφειολίθων και κρυσταλλοσχιστώδων (Άνω Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό) αποτελεί το ανώτερο τεκτονικό σχηματισμό του αλπικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης. Η τοποθέτηση του καλύμματος ξεκίνησε κατά το Άνω Ηώκαινο και ολοκληρώθηκε κατά το Μειόκαινο (Fassoulas, 1999).

Το οφειολιθικό σύμπλεγμα περιλαμβάνει σερπεντινωμένους περιδοτίτες, γάββρους, δολερίτες, πυροξενίτες κ.ά. (Φυτρολάκης, 1980; Bidakis et al., 1994).

Το κάλυμμα των Αστερουσίων περιλαμβάνει γνεύσιους, μάρμαρα, αμφιβολίτες, σχιστολίθους (Φυτρολάκης, 1980; Bidakis et al., 1994; Μουντράκης, 1985).

Το κάλυμμα Βάτου αποτελείται από τους σχιστολίθους του Βάτου, εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και ψαμμιτικών ασβεστολίθων ή ψαμμιτών (γραιουβάκες) με ηφαιστειακά (Φυτρολάκης, 1980; Bidakis et al., 1994).

Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης εντοπίζονται εκτεταμένες εμφανίσεις του οφειολιθικού συμπλέγματος και του καλύμματος των Αστερουσίων, ΒΒΔ του Τυμπακίου. Το οφειολιθικό σύμπλεγμα τοποθετείται επωθημένο πάνω στο κάλυμμα των Αστερουσίων ή επάνω στο φλύσχη της Εθιάς. Το κάλυμμα των Αστερουσίων εντοπίζεται πάνω στο κάλυμμα Βάτου ή στο φλύσχη της Εθιάς. Ενώ, στην εν λόγω περιοχή το οφειολιθικό κάλυμμα έρχεται σε επαφή με το αυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων της ενότητας Κρήτης - Μάνης μέσω μεγάλου ρήγματος αποκόλλησης γενικής διεύθυνσεως Α-Δ (Papanikolaou et al., 2010). Το κάλυμμα του Βάτου εντοπίζεται δυτικά του χωριού Καμάρες επωθημένο στο φλύσχη της Εθιάς.

Στο τμήμα νότιο της λεκάνης το οφειολιθικό σύμπλεγμα, το κάλυμμα των Αστερουσίων και το κάλυμμα του Βάτου εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Πόμπιας επωθημένα επάνω στο φλύσχη της Εθιάς.

Ενότητα Ωλονού – Πίνδου

Η ενότητα Ωλονού - Πίνδου εμφανίζεται εκτεταμένως στη νότια περιοχή της λεκάνης, στα Αστερούσια Όρη, ως σειρά Εθιάς.

Περιλαμβάνει ψαμμιτοπηλινικό φλύσχη (Παλαιόκαινο - Κάτω Ηώκαινο), πτυχωμένο κατά θέσεις με ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστόλιθων (Φυτρολάκης, 1980; Bidakis et al., 1994). Οι εμφανίσεις του φλύσχη της Εθιάς καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση τόσο στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης αλλά κυρίως στο ΝΑ. Σημαντικές εμφανίσεις όμως, εντοπίζονται και στο βόρειο τμήμα, όπως αυτή ΒΒΔ του Μεταξοχωρίου και δυτικά του χωριού Πλάτανος.

Νηριτικοί, πλακώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας Σενωνίου – Κάτω Ηωκαίνου (Bonneau et al., 1984) εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης εντός του φλύσχη της Εθιάς, ΝΔ του χωριού Ζάρος, ενώ εκτεταμένες εμφανίσεις παρουσιάζονται βορειότερα στις ΝΑ παρυφές του όρους Ίδη. Ενώ στο νότιο τμήμα της λεκάνης οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι εμφανίζονται στις βόρειες κλιτύες των Αστερουσίων όπως αυτές ΝΔ και ΝΑ της Πόμπιας, καθώς και νοτίως του Μεσοχωρίου, αποκαλυπτόμενοι εντός του φλύσχη της Εθιάς.

Ροδόχρωμοι Ασβεστόλιθοι απολιθωματοφόροι με ιασπίδες και ραδιολαρίτες ηλικίας Αν. Τριαδικού – Κ. Ιουρασικού (Bidakis et al., 1994) ή και Αν. Τριαδικού – Κ. Σενονίου (Bonneau et al., 1984; Φυτρολάκης, 1980) και ο «πρώτος φλύσχη της Πίνδου» τοποθετούνται μαζί με την Κλαστική σειρά Αν. Τριαδικού επωθημένα πάνω στο φλύσχη της Τρίπολης, βόρεια του χωριού Άγιοι Δέκα.

Ενότητα Τρίπολης

Στην περιοχή πλησίον του χωριού της Αγίας Βαρβάρας εμφανίζεται ο αργιλικός, ψαμμιτικός φλύσχη της Τρίπολης, ηλικίας Αν. Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου (Bonneau et al., 1984; Φυτρολάκης, 1980; Bidakis et al., 1994). Η σχέση του φλύσχη με τους υποκείμενους ανθρακικούς σχηματισμούς της ίδιας ενότητας είναι τεκτονική, αφού η επαφή τους γίνεται μέσω μεγάλων ρηγμάτων που τους έχουν ανυψώσει σε σχέση με το φλύσχη. Η παρουσία αυτών των ρηξιγενών δομών, είναι κυρίαρχη στους πρόποδες της Ίδης. Επίσης, είναι σημαντική η παρουσία του φλύσχη κάτω από τους μεταλλικούς σχηματισμούς, των οποίων αποτελεί, ως επί το πλείστον, το αλπικό υπόβαθρο στα διάφορα ρηξιτεμάχη, που συνθέτουν την περιοχή (Βασιλάκης, 2006). Σημαντικές εμφανίσεις της φλυσχικής ακολουθίας της Τρίπολης, συναντώνται στις βόρειες κλιτύες των Αστερουσίων, όπως αυτές στην περιοχή της Πόμπιας.

Η ανθρακική σειρά της Τρίπολης αποτελείται από σκουρόχρωμους, νηριτικούς, βιτουμενιούχους, δολομίτες και ασβεστόλιθους (Creutzburg, et al., 1977; Bonneau et al.,

1984; Bidakis et al., 1994) ηλικίας Αν. Τριαδικό – Μ.-Αν. Μειόκαινο (Sannemann et al., 1976; Kopp et al., 1977; Φυτρολάκης, 1980). Αποτελούν το κύριο αλπικό υπόβαθρο των νοτιοανατολικών πρανών του όρους Ίδη και δημιουργούν μεγάλες μορφολογικές ασυνέχειες με διεύθυνση Α-Δ, αλλά και Β-Ν (Βασιλάκης, 2006).

Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών

Η ενότητα φυλλιτών – χαλαζιτών αντιπροσωπεύεται από μία περιορισμένη εμφάνιση βόρεια της Γέγερης, με ηλικία Πέρμιο – Τριαδικό (:), όπου υπόκεινται των ασβεστολίθων της επωθημένης ενότητας της Τρίπολης. Η επαφή των δύο ενοτήτων εντοπίζεται στους πρόποδες της Ίδης, να είναι καλυμμένη από κορήματα μεγάλου πάχους και πολλών διαφορετικών γενεών (Βασιλάκης, 2006).

Αυτόχθονη – παρααυτόχθονη σειρά

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι του Μεσοζωικού - Τριτογενούς μαζί με τα μεταφλυσικά στρώματα Κρούσωνα του Αν. Ηωκαίνου (Bonneau et al., 1984) αποκαλύπτονται στα ΝΑ πρανή του όρους Ίδη, υπό τη μορφή τεκτονικού παραθύρου.

2.5.2 Νεογενείς σχηματισμοί

• 2.5.2.1 Ομάδα Τεφελίου

Σχηματισμός Βιάννου

Οι αμμώδεις, αργιλώδης και ιλυώδεις λιμναίες αποθέσεις με μικρές ενδιαστρώσεις από πολύμικτα κροκαλοπαγή ποταμο-χειμάρρειας προέλευσης, στο κατώτερο τμήμα του, συνθέτουν το σχηματισμό Βιάννου, με ηλικία Σερραβάλλιο (Meulenkamp, 1979). Κατά τον Βασιλάκη, 2006 ο σχηματισμός Βιάννου εμφανίζεται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης Μεσσαράς και στα όριά της με τη λεκάνη Ηρακλείου. Είναι γενικά λεπτο - κοκκώδης και στα πρώην ποτάμια κανάλια κυριαρχούν ψαμμίτες. Οι κατευθύνσεις αυτών των παλαιορευμάτων είναι γενικά προς τα ΝΔ ως Δ. Κοντά στο χωριό Άνω Βιάννος, παρατηρείται μια γενική μείωση του μεγέθους των κόκκων προς τα ανώτερα στρώματα των ποτάμιων ακολουθιών. Τοπικά, η θαλάσσια επιρροή έχει πιστοποιηθεί βάσει των υπολειμμάτων πανίδας (π.χ. μεγάλα δείγματα *Ostrea*), ενώ εμφανίζονται και παλιρροιακές αποθέσεις (π.χ. βόρεια του χωριού Τεφέλι). Κοντά στο χωριό Κάνδαρος, ακριβώς δυτικά της Βιάννου, εμφανίζονται ψαμμίτες, που δείχνουν ότι τα παλαιο-ρέματα ρέουν από την ανατολή προς τη δύση, να καλύπτουν τους παλιότερους ορίζοντες της ποταμο-λιμναίας ακολουθίας του σχηματισμού Βιάννου. Οι διευθύνσεις των παλαιο-ρεμάτων και οι παλαιές γραμμές ακτών στους ψαμμίτες στην

Κάνδαρο δείχνουν ότι η επίκλυση της θάλασσας γίνεται από τα ΝΝΔ προς τα ΒΒΑ (ten Veen et al., 1999a). Το συνολικό πάχος του σχηματισμού έχει υπολογιστεί κοντά στα 400 μέτρα.

Σχηματισμός Σκινιά

Ο σχηματισμός Σκινιά, τοποθετείται σύμφωνα επάνω στο σχηματισμό του Βιάννου ο οποίος αποτελείται από σκούρες θαλάσσιες αργίλους με ηλικία Ανώτερου Σερραβαλλίου (Meulenkamp, 1979). Οι γκρι-μπλε άργιλοι του σχηματισμού Σκινιά καλύπτουν τους παράκτιους ψαμμίτες του σχηματισμού Βιάννου, βόρεια του χωριού Τεφέλι. Νότια του Τεφελίου, κατολισθήσεις εδαφών που αποτελούνται από πηλίτες, εμφανίζονται στη βάση του σχηματισμού Σκινιά. Κοντά στη χρονική μετάβαση από το Μέσο στο Άνω Μειόκαινο, κατά τη διάρκεια της απόθεσης του σχηματισμού Σκινιά, έλαβε χώρα η απόθεση ασβεστολιθικών λατυποπαγών και μαζική τοποθέτηση ολισθολίθων αλπικής προέλευσης και ιδιαίτερα ανθρακικής σύστασης, με σκουρόχρωμες και ανοιχτόχρωμες ανθρακικές λατύπες της ενότητας Τρίπολης και από λατύπες με οφειολιθική σύσταση (Βασιλάκης, 2006).

Σχηματισμός Αμπελούζου

Κατά την περίοδο του Κάτω Τορτονίου αποτέθηκαν κλαστικά ιζήματα που ανήκουν στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου (Meulenkamp, et al., 1979).

Ο Βασιλάκης, 2006 αναφέρει ότι τα μέλη του σχηματισμού Αμπελούζου να καλύπτονται, ασύμφωνα, από μέλη του νεώτερου σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας. Το κατώτερο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλία ιζηματογενών φάσεων, από κροκαλοπαγή ριπιδίων μέχρι ομογενείς ψαμμίτες υφαλοκρηπίδας. Επίσης, παρατηρείται μια συνολική τάση βάθυνσης, στα ανώτερα στρώματα, τα οποία αποτελούνται από κυκλοθέματα που αντικατοπτρίζουν εναλλαγές λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων δελταϊκών αποθέσεων. Κατά μήκος του νότιου περιθωρίου του όρους Ίδη, κοντά στο χωριό Ζαρός, ο σχηματισμός Αμπελούζου αποτελείται από δελταϊκές αποθέσεις που περιλαμβάνουν ακολουθίες από βιτουμενιούχους σχίστες (προδέλτα), άμμους (μέτωπο δέλτα) και αργιλώδεις ως χαλικώδεις δελταϊκές περιοχές, με παλαιοεδάφη και λιγνίτες (Meulenkamp, et al., 1979). Τα διάφορα δελταϊκά συστήματα, μεταβαίνουν σε αμμώδεις αποθέσεις ρηχής θάλασσας και υφάλους. Αυτή η μετάβαση προς βαθύτερο θαλάσσιο περιβάλλον, προσδιορίζεται από την άφθονη παρουσία του βενθονικού τρηματοφόρου *Heterostegina* sp., σε αντίθεση με την παράκτια πανίδα που αποτελείται από γαστερόποδα και μαλάκια. Στην περιοχή μεταξύ των χωριών Ζαρού και Αγίας Βαρβάρας, μια παχιά δελταϊκή ακολουθία αποτέθηκε στην τομή των δύο

διευθύνσεων ρηγμάτων (B-N και A-Δ). Στο νότιο τμήμα της περιοχής αυτής, η δελταική ακολουθία είναι πιο λεπτοκοκκώδης. Προς τα ανώτερα μέλη της κολώνας, οι ποτάμιες αποθέσεις μεταβαίνουν προς παράκτιους και θαλάσσιους πηλίτες και ψαμμίτες, με απολιθώματα *Pecten*, *Clypeaster*, *Lithothamnium* και *Ostrea*.

- 2.5.2.2 Ομάδα Βρυσών

Σχηματισμός Αγίας Βαρβάρας

Σε όλη την περιοχή της Αγ. Βαρβάρας, παρατηρήθηκε ο ομώνυμος σχηματισμός, της ομάδας Βρυσών, ηλικίας Ανώτερου Τορτόνιου – Μεσσήνιου, που αφορά στην απόθεση κλαστικών σχηματισμών προερχόμενων από αποσάθρωση παλιότερων, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση ασβεστολίθων και μαργών (Meulenkamp, et al., 1979). Για το σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας ο Βασιλάκης, 2006 αναφέρει ότι στις βορειότερες και στις νοτιότερες περιοχές, εμφάνισης του σχηματισμού, τα κατώτερα τμήματα της ακολουθίας αποτελούνται από αναμιγμένα κλαστικά προϊόντα αποσάθρωσης, με ανθρακικής σύστασης αποθέσεις μικρού θαλάσσιου βάθους, τα οποία βρίσκονται σε ασυμφωνία με τα υποκείμενα στρώματα του σχηματισμού Αμπελούζου και κατά θέσεις, με τις παλαιότερες αλπικές ενότητες. Αυτές οι αποθέσεις, μικρού θαλάσσιου βάθους, εμφανίζονται στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού και έχουν την ειδική ονομασία Πύργος, από το ομώνυμο χωριό. Γύρω από το χωριό αυτό, παρατηρούνται ασυμφωνίες του σχηματισμού πάνω από κεκλιμένα τεμάχια με αποθέσεις των σχηματισμών Βιάννου και Αμπελούζου. Αποτελούνται από ψαμμίτες, με άφθονα απολιθώματα *Lithothamnium* sp., *Porites* και *Hesterostegina* sp. Στη βάση της ακολουθίας παρατηρούνται και διαστήματα με πιο χονδρόκοκκο υλικό. Στην συγκεκριμένη περιοχή, ο σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας, χαρακτηρίζεται από κανονικές εναλλαγές ομοιογενών και φυλλωδών μαργών, οι οποίες σχηματίζονται σε βαθύ θαλάσσιο περιβάλλον. Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς, οι ορίζοντες του Πύργου βρίσκονται να κάθονται πάνω από αποθέσεις του σχηματισμού Αμπελούζου, όπου βρίσκονται αποδείξεις για τη χέρσευση κάποιων περιοχών. Στα ανώτερα όρια των οριζόντων του Πύργου, παρατηρείται η, σχεδόν, ολοκληρωτική εξαφάνιση του *Lithothamnium* sp. Και των κλαστικών αποθέσεων, καθώς η ιζηματογένεση αλλάζει προς βιογενείς ασβεστολίθους και μάργες (ten Veen, 1998). Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, ο σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας χαρακτηρίζεται από κανονικές εναλλαγές ομοιογενών και φυλλωδών μαργών, οι οποίες σχηματίζονται σε βαθύ θαλάσσιο περιβάλλον.

Μέσα στο σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας τοποθετούνται εβαπορίτες, υπό τη μορφή γύψων στις νοτιοδυτικές περιοχές εμφάνισης του σχηματισμού, η προέλευση των οποίων

σχετίζεται με την κρίση αλμυρότητας της Μεσογείου κατά το Μεσσήνιο (Meulenkaamp, 1979).

- 2.5.2.3 Ομάδα Φοινικιάς

Σχηματισμός Φοινικιάς

Τα ιζήματα του σχηματισμού της Φοινικιάς, ηλικίας Κατώτερου Πλειοκαίνου υπέρκεινται της ομάδας των Βρυσών (Meulenkaamp, et al., 1979). Αποτελείται από λευκές μάργες και μαργαϊκούς ασβεστολίθους βαθιάς θάλασσας, λόγω της ανόδου της στάθμης στο τέλος της κρίσης αλμυρότητας του Μεσσήνιου. Αυτές οι αποθέσεις μεγάλου βάθους εξελίσσονται σε τεφρές ψαμμιτικές μάργες, άμμους και κροκαλοπαγή κατά μήκος της λεκάνης. Η ακολουθία αυτή υποδηλώνει μια διαρκή μείωση του βάθους της λεκάνης, παράλληλα με στρέψη προς Βορρά (Meulenkaamp, et al., 1994).

- 2.5.2.4 Ομάδα Αγίας Γαλήνης

Η δελταϊκή ακολουθία που οριοθετείται από τα περιθώρια της λεκάνης της αποτελεί το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης, την ανώτερη Νεογενή ενότητα της κεντρικής Κρήτης οι οποία αποτελείται από 300 m πάχους (Meulenkaamp, 1979) χονδρόκοκκα κροκαλοπαγή, ηπειρωτικής προέλευσης (Meulenkaamp, et al., 1977; ten Veen & Kleinspehn, 2003a). Τα χερσαία αυτά ιζήματα επικαλύπτουν και αποτελούν, εν μέρει, την πλευρική μετάβαση των θαλασσίων ιζημάτων του σχηματισμού της Φοινικιάς (Meulenkaamp, 1979). Η μετάβαση από τη θαλάσσια στην ηπειρωτική ιζηματογένεση, παρουσιάζει μια μείωση του βάθους της λεκάνης, από περιβάλλον βαθιάς θάλασσας, σε ένα παράκτιο, υφάλμυρο και τελικά σε ηπειρωτικό. Η χρονολόγηση της χέρσευσης και της εξέλιξης αυτών των δελταϊκών αποθέσεων κατά τη διάρκεια του Άνω Πλειοκαίνου έχει προσδιοριστεί περίπου στα $3,4 \pm 1,7$ Ma, με βάση χρονολογήσεις ισοτόπων Sr και τρηματοφόρων (ten Veen & Kleinspehn, 2003a). Ωστόσο, λόγω της έλλειψης γεωχρονολογικών δεδομένων, η ηλικία των ανώτερων οριζόντων παραμένει ασαφής και υπολογίζεται να φτάνει στο Πλειστόκαινο (Meulenkaamp, 1979). Η δε ύπαρξη περισσότερων από 25, μεγάλου πάχους, οριζόντων παλαιο-εδαφών, απεικονίζει μια μακράς διάρκειας και αργή καθίζηση της σχετικής λεκάνης, γεγονός το οποίο συμβαδίζει ότι η ηλικία των παραπάνω οριζόντων του σχηματισμού της Αγίας Γαλήνης να φθάνει το Πλειστόκαινο (ten Veen & Kleinspehn, 2003a).

Στην περιοχή, τα ιζήματα που αποδίδονται στο σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης παρουσιάζονται σε τέσσερις απομονωμένες περιοχές κατά μήκος του τεκτονικού βυθίσματος της Μεσσαράς. Εξαιτίας της προ-αποθετικής τεκτονικής, η σημερινή μορφή

των ιζημάτων του σχηματισμού της Αγίας Γαλήνης, ελέγχεται σαφώς από τη δραστηριοποίηση των ρηγμάτων που τα οριοθετούν και τη ανεξάρτητη κίνηση των ρηξιτεμαχών που απαρτίζουν την περιοχή της Μεσσαράς. Ο σχηματισμός της Αγ. Γαλήνης εμφανίζεται ως σύμπλεγμα στις περιοχές της Αγίας Γαλήνης – Κόκκινος Πύργος, Κισσός, Μοίρες και Γκαγκάλες. Αυτά τα ιζήματα αντιπροσωπεύουν τα υπολείμματα των πρώην αλλουβιακών ριπιδίων που τροφοδοτούνταν από την περιοχή στα βόρειά τους (Peterek et al., 2004).

Τα μεγαλύτερα μεγέθη κροκάλων έχουν διάμετρο της τάξης των 70 εκατοστών και εμφανίζονται ΒΔ του χωριού Αγία Γαλήνη, κοντά στο περιθωριακό ρήγμα της λεκάνης, όπου συναντώνται κυρίως υπογωνιώδεις κροκάλες φλυσικής προέλευσης (σε ποσοστό 85%), αλλά και οφειολιθικής ή ανθρακικής προέλευσης σε μικρότερο ποσοστό. Ανατολικότερα, κοντά στο χωριό Σκούρβουλα, συναντώνται άφθονες, οφειολιθικής σύστασης, κροκάλες (σε ποσοστό 40%), που έχουν προέλθει από τη διάβρωση οφειολιθικών καλυμμάτων που εμφανίζονται εκεί. Το ανθρακικό στοιχείο εμφανίζεται πιο συχνά στην περιοχή των δελταϊκών αποθέσεων μεταξύ Αγίας Γαλήνης – Κόκκινου Πύργου (σε ποσοστό 50%), αλλά είναι παρούσες και κροκάλες προερχόμενες από ραδιολαρίτες και φλύσχη της ενότητας Πίνδου, από χαλαζίτες και οφειολίθους (Βασιλάκης, 2006).

2.5.3 Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Η λεκάνη της Μεσσαράς έχει πληρωθεί με κορήματα, αλλουβιακά ριπίδια και αλλουβιακές ποτάμιες αποθέσεις από το Κάτω – Μέσο Πλειστόκαινο.

Στη βόρεια περιοχή του Τυμπακίου επικρατούν αλλουβιακά ριπίδια χαμηλής κλίσης. Τα αλλουβιακά αυτά ριπίδια, διαχωρίζονται από σύμπλεγμα του σχηματισμού της Αγίας Γαλήνης, στην περιοχή του Κισσού, από ένα ρήγμα ΒΔ-ΝΑ. Στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Τυμπακίου, τα αλλουβιακά ριπίδια του Άνω Πλειστοκαίνου, επικαλύπτονται από νεότερες αποθέσεις ριπιδίων του Ολοκαίνου και πάνω από αυτές οι αλλουβιακές αποθέσεις του Γεροποτάμου.

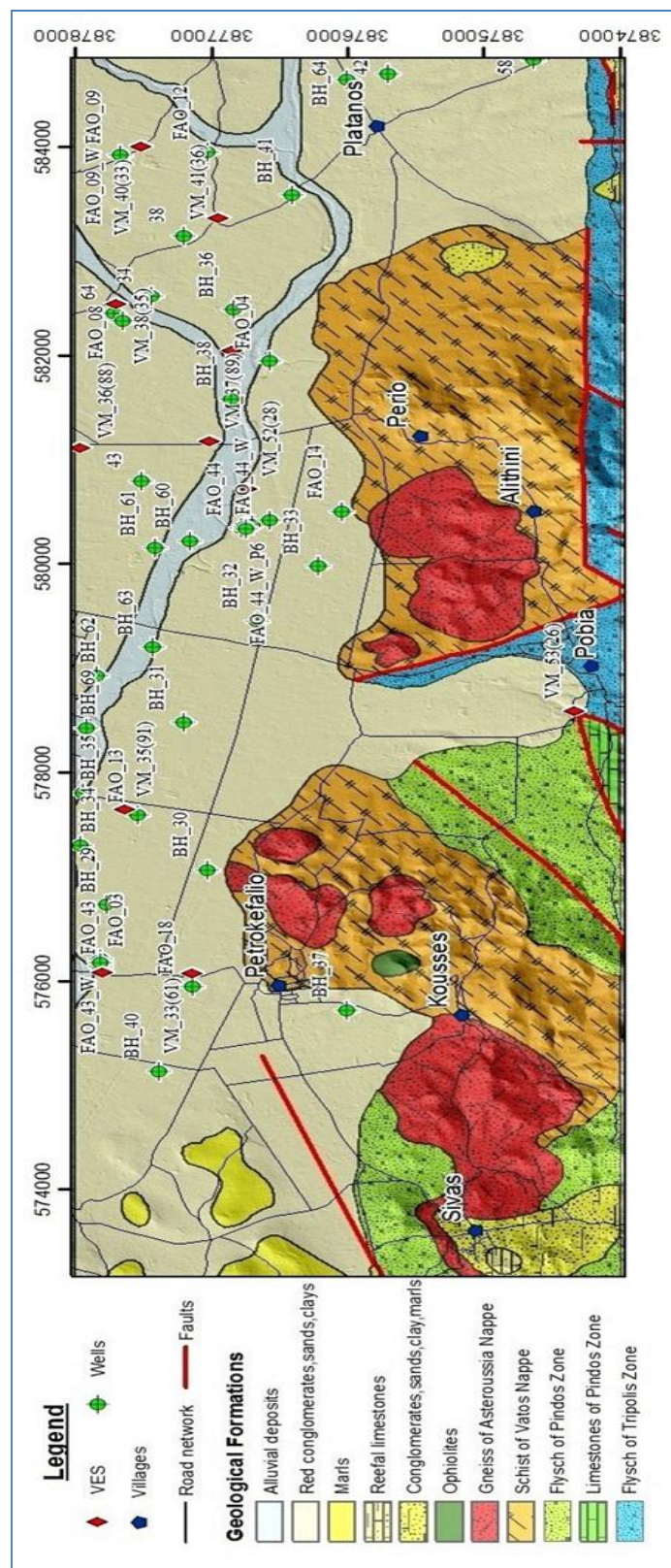
Κοινό χαρακτηριστικό της μορφολογίας της λεκάνης της Μεσσαράς είναι τα μεγάλης έκτασης και μικρής κλίσης Πλειστοκαινικά έως και σημερινά αλλουβιακά ριπίδια. Στο ανατολικό τμήμα της Μεσσαράς τα αλλουβιακά ριπίδια τοποθετούνται κυρίως κατά μήκος του νοτίου περιθωρίου της λεκάνης. Η μορφή τους χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις, συγκριτικά και με αυτές που επικρατούν στη δυτική Μεσσαρά (Peterek et al., 2004).

Κατά μήκος του Γεροποτάμου εκτείνονται οι αλλουβιακές αποθέσεις από το Άνω Ολόκαινο έως σήμερα. Στις κοίτες ρεμάτων συναντώνται άμμοι και κροκαλοπαγή μικρής

συνεκτικότητας, με κροκάλες ποικίλης προέλευσης, που προέρχονται από την αποσάθρωση αλπικών και μεταλπικών σχηματισμών (Βασιλάκης, 2006).

Στις βόρειες πλαγιές των Αστερουσίων και στις νότιες πλαγιές του όρους Ίδη, καλύπτονται από μεγάλου πάχους κορήματα.

Τα παλαιότερα των κορημάτων αυτών, στην περιοχή της Ίδης εμφανίζονται συγκολλημένα, ενώ τα νεότερα είναι ασύνδετα, με λατύπες που προέρχονται από διάβρωση των ανθρακικών σχηματισμών της ενότητας Τρίπολης. Επίσης, παρατηρήθηκαν δύο μεγάλες συγκεντρώσεις κορημάτων, η μία σε μεγαλύτερα υψόμετρα (800–1.000m), που καλύπτει μόνο αλπικούς σχηματισμούς και μια σε μικρότερα υψόμετρα (500–650m) που καλύπτει τη μεγάλη ρηξιγενή ζώνη, η οποία φέρνει σε επαφή αλπικά και μεταλπικά ιζήματα του σχηματισμού Αμπελούζου (Βασιλάκης, 2006).

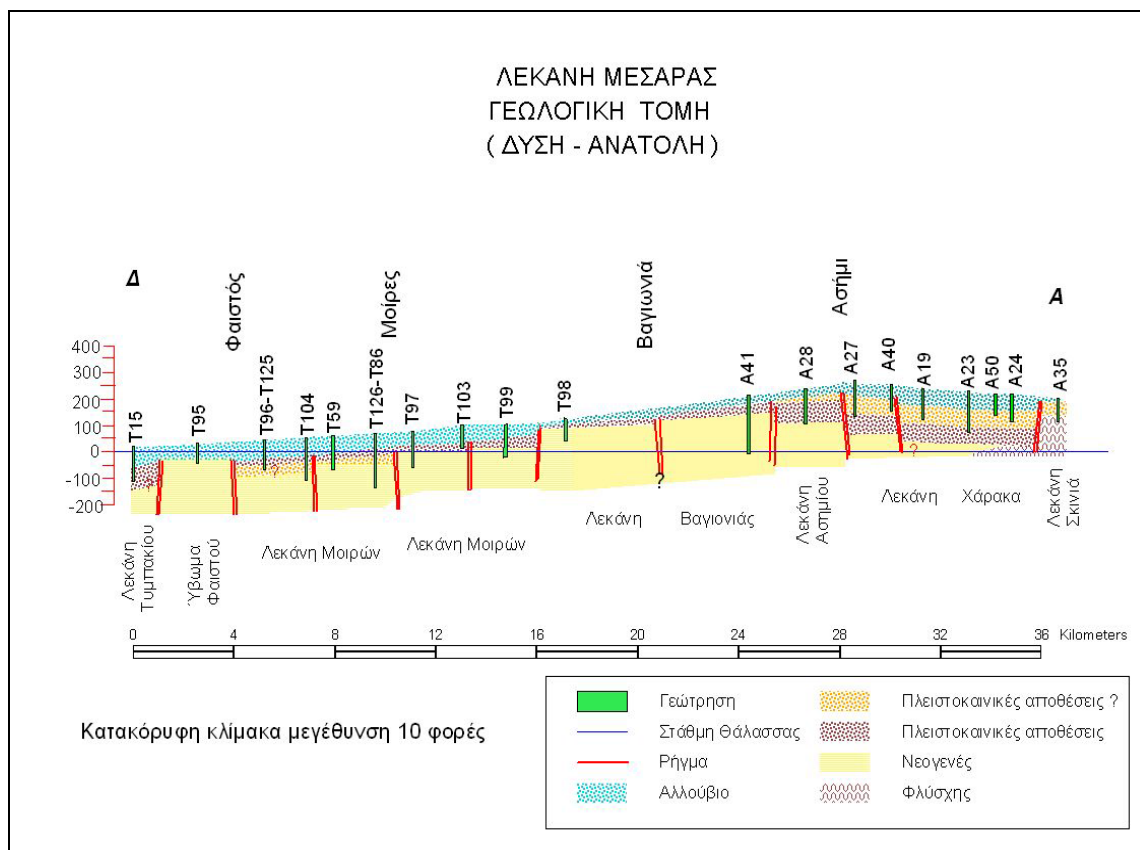


Εικόνα 2.5 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Πόμπιας κλίμακας 1:50000, βασιζόμενος στη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ.

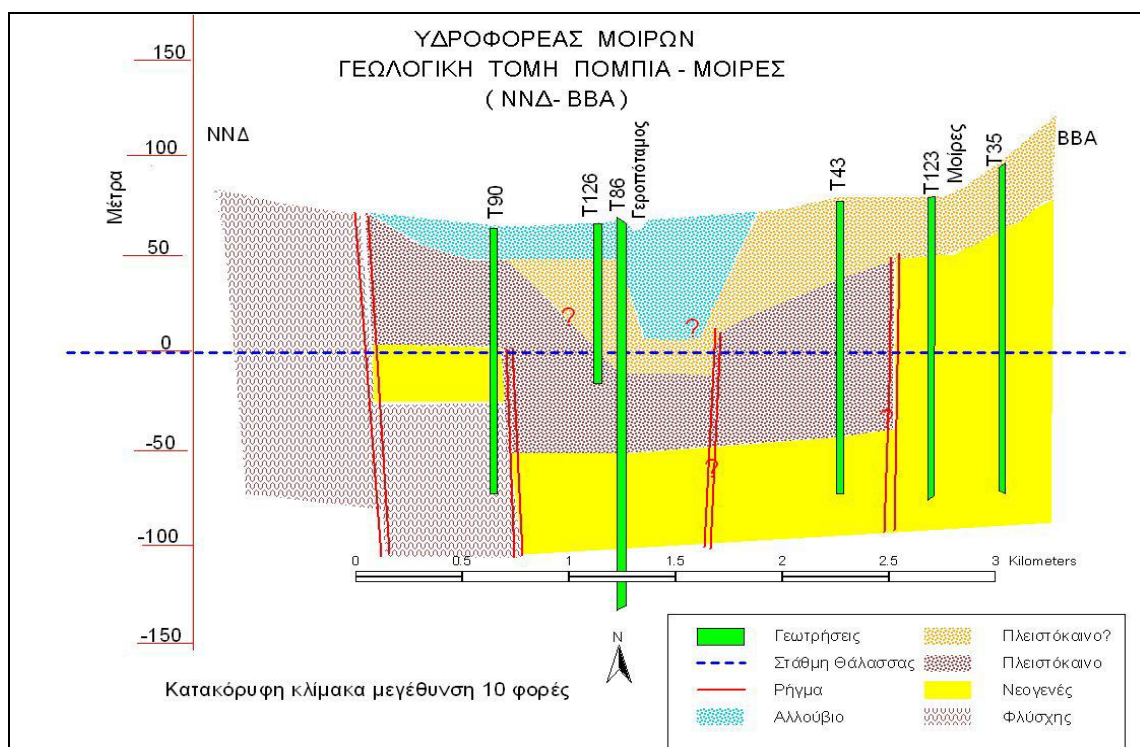
2.5.5 Σχηματικές τομές λεκάνης Μεσσαράς

Παρατίθενται τρεις σχηματικές τομές (εικόνες 2.6 – 2.8) στην περιοχή της Μεσσαράς με τους αλπικούς, νεογενής και τεταρτογενής σχηματισμούς καθώς και ρήγματα, όπως αυτά αναφέρονται από τον Κριτσωτάκη, 2009. Οι θέσεις των τομών παρουσιάζονται στο γεωλογικό χάρτη της εικόνας 2.9. Η πρώτη τομή Δ-Α (εικόνα 2.6) αφορά όλη τη λεκάνη της Μεσσαράς. Η τομή ακολουθεί την κατεύθυνση των κύριων υδρορευμάτων Γεροπόταμου και Αναποδάρη, και τη γεωτεκτονική εξέλιξη της κεντρικής Κρήτης. Με βάση την τομή γίνεται κατανοητό ότι η λεκάνη είναι μία σύνθετη αλληλουχία από ρηξιγενή τεμάχια Νεογενούς και προ-Νεογενούς υποβάθρου. Τα ρηξιτεμάχια αυτά ονομάζονται (από ανατολικά προς δυτικά): λεκάνη Τυμπακίου, Μοιρών, Βαγιονιάς, Ασημίου, Χάρακα και Σκινιά. Παρατηρείται μία βαθμιαία αύξηση της βύθισης προς τα δυτικά που ξεκινάει από το ρηξιτέμαχος της λεκάνης της Βαγιονιάς και μια προς τα ανατολικά στις λεκάνες Μοιρών και Ασημίου - Χάρακα αντίστοιχα. Προς τα δυτικά η ανύψωση του υβώματος της Φαιστού απομονώνει την αλλουβιακή / πλειο - πλειστοκαινική λεκάνη του πεδινού τμήματος της Μεσσαράς από την παράκτια λεκάνη του Τυμπακίου.

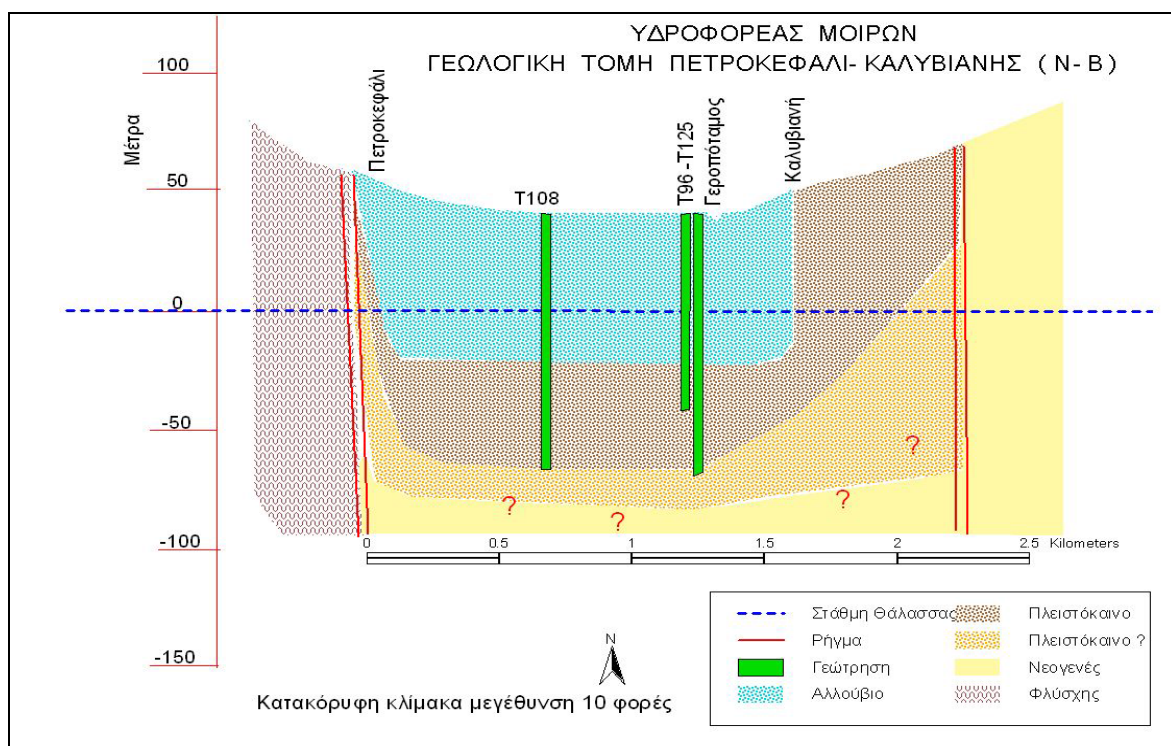
Οι επόμενες τομές (εικόνα 2.7-2.8) είναι κάθετες στη γενική τομή της λεκάνης της Μεσσαράς και κάθετες στη ροή του υδρορέματος του Γεροποτάμου. Αφορούν την περιοχή Πόμπιας – Μοιρών και την περιοχή Πετροκεφάλι – Καλύβιανης και βρίσκονται εντός την περιοχής μελέτης. Στις τομές διακρίνεται ένα μεγάλο ρήγμα με BBA βύθιση, το οποίο οδηγεί στη βαθμιαία ταπείνωση του προ – Νεογενούς υποβάθρου προς αυτή την κατεύθυνση. Ενώ τα ρήγματα παράλληλης παράταξης που δρουν έως το Πλειόκαινο (και πιθανά Πλειστόκαινο) συνεπάγονται τη δημιουργία λεκάνης Α - Δ (κομμάτι της ευρύτερης λεκάνης της Μεσσαράς) αλληπαλλήλων βυθισμάτων τα οποία πληρώθηκαν με τους προαναφερθείς ιζηματογενείς σχηματισμούς. Το μέγεθος της ταπείνωσης που οφείλεται στη δράση των ρηγμάτων, είναι αντιληπτό και από το χαρακτηριστικά μεγάλο πάχος των Τεταρτογενών και των Νεογενών σχηματισμών με τα οποία πληρώθηκε η περιοχή.



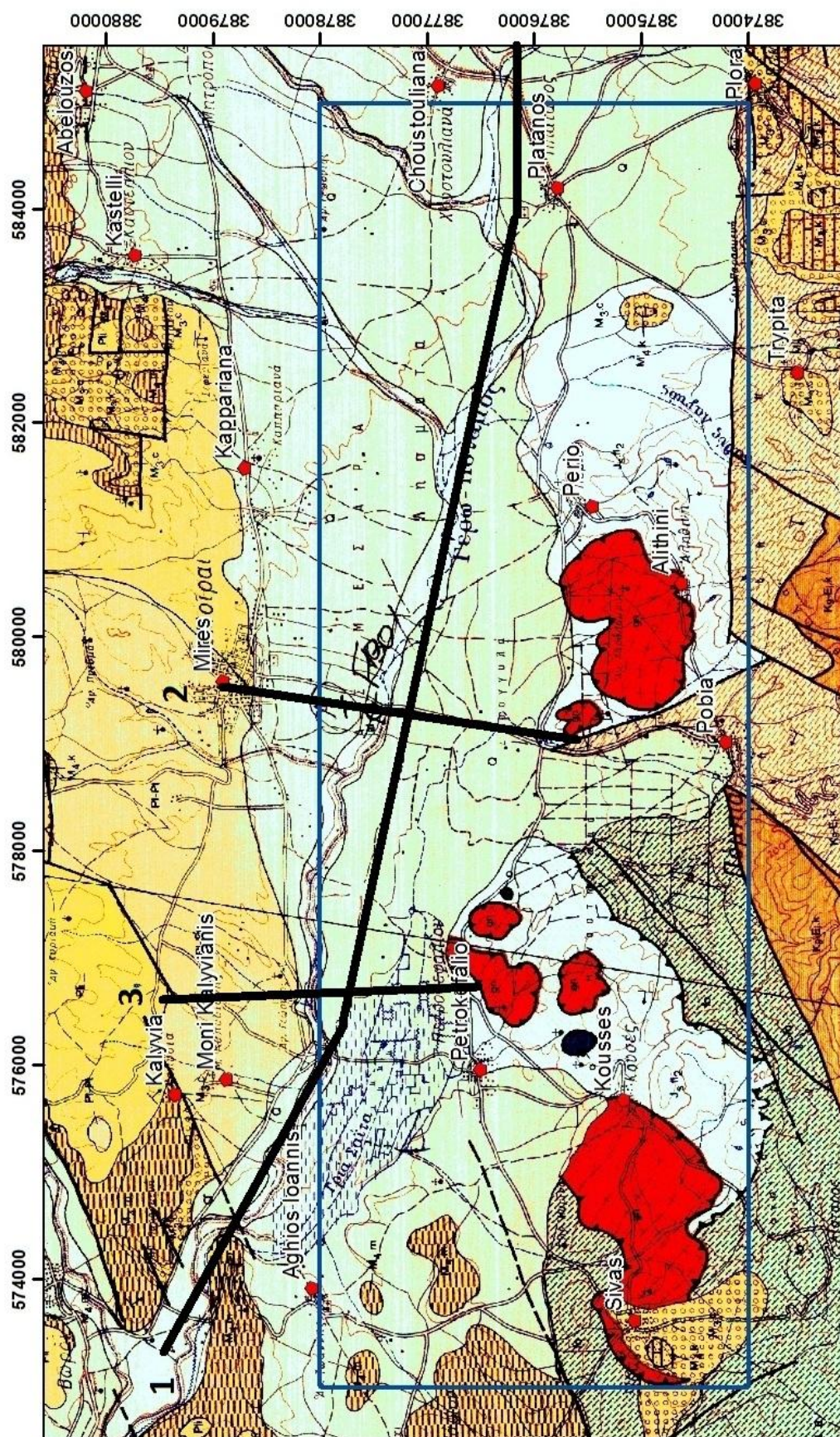
Εικόνα 2.6 Γεωλογική τομή λεκάνης Μεσσαράς (Δ-Α), (Κριτσωτάκης, 2009). Η θέση της παρουσιάζεται στο χάρτη 2.9 με το Νο1.



Εικόνα 2.7 Γεωλογική τομή Πόμπια – Μοίρες (NND- BBA), (Κριτσωτάκης, 2009). Η θέση της παρουσιάζεται στο χάρτη 2.9 με το Νο 2.



Εικόνα 2.8 Γεωλογική τομή Πετροκεφάλι- Καλυβιανή (B-N), (Κριτσωτάκης, 2009). Η θέση της παρουσιάζεται στο χάρτη 2.9 με το Νο3.



Εικόνα 2.9 Ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓ.ΜΕ της ευρύτερης περιοχής μελέτης, από φύλλο Τυμπάκιον κλίμακας 1:50.000. Στο πλαίσιο η περιοχή μελέτης.

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Σύμφωνα με τον ορισμό του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Γεωθερμίας [1] (EGEC), η Γεωθερμία είναι η ενέργεια υπό μορφή θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης. Αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας παρέχοντας θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια 24 ώρες την ημέρα, όλο το χρόνο. Μια πηγή ενέργειας σχεδόν άπειρη και παγκοσμίως διαθέσιμη. Έχει χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα για θέρμανση και λουτροθεραπεία, και τα τελευταία περίπου 100 χρόνια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το δυναμικό της είναι ανεξάντλητο σε ανθρώπινους όρους, συγκρίσιμο με εκείνο του ήλιου. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σήμερα η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σε συστήματα τηλεθέρμανσης, καθώς και σε θέρμανση και ψύξη μεμονωμένων κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων γραφείων, καταστημάτων, κατοικιών, θερμοκηπίων κλπ. Η πρώτη παραγόμενη γεωθερμική ηλεκτρική ενέργεια ήταν στο Larderello, της Ιταλίας, το 1904. Η Ισλανδία, η Ιταλία, η Τουρκία, η Πορτογαλία, η Γερμανία και η Γαλλία είναι οι κορυφαίες χώρες παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη σήμερα. Τα μεγαλύτερα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης στην Ευρώπη βρίσκονται στην περιοχή του Παρισιού και του Μονάχου, ενώ στην Αυστρία, την Ουγγαρία, την Ιταλία, την Πολωνία, τη Σλοβακία και άλλες χώρες, διαφαίνεται ένας σημαντικός αριθμός από ενδιαφέροντα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης. Η Σουηδία, η Ελβετία, η Γερμανία και η Αυστρία είναι οι κορυφαίες χώρες όσον αφορά την αγορά των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στην Ευρώπη.

Σήμερα αξιοποιείται μόνο ένα μικρό μέρος της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία έχει μορφή θερμών ρευστών. Ενώ άλλες κατηγορίες γεωθερμικής ενέργειας είναι η ενέργεια των θερμών ξηρών πετρωμάτων στα οποία εισάγεται δια μέσου γεώτρησης νερό, θερμαίνεται και εξάγεται από άλλη γεώτρηση για την απόληψη του θερμικού του φορτίου, η γεωπεπιεσμένη ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια από το νερό υψηλής αλατότητας που βρίσκεται σε σχετικά μεγάλα βάθη, υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία και το οποίο περιέχει διαλυμένο μεθάνιο, καθώς και η ενέργεια μάγματος η οποία προέρχεται από την απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις κοντά σε μαγματικές διεισδύσεις με μικρό σχετικά βάθος. Όλες οι παραπάνω κατηγορίες γεωθερμικής ενέργειας όμως, βρίσκονται ουσιαστικά σε ερευνητικό στάδιο(Φυτίκας κ.α., 2004).

3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

3.1.1 Θερμότητα

Η ενέργεια που προσάγεται ή απάγεται από ένα σώμα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ονομάζεται θερμότητα. Ο όρος θερμότητα, αναφέρεται πάντοτε σε μεταφορά ενέργειας από ένα σώμα ή σύστημα σε ένα άλλο, και ποτέ στο ποσό ενέργειας που περιέχεται σε ένα συγκεκριμένο σύστημα (Young, 1994).

Η μετάδοση της θερμότητας οφείλεται αφενός στη χαρακτηριστική θερμοδυναμική «ιδιότητα» της ύλης, τη θερμοκρασία, και αφετέρου ότι η διακίνηση θερμικής ενέργειας γίνεται πάντοτε από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες (δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα). Η μετάδοση της θερμότητας μπορεί να γίνει με: α) αγωγή, β) συναγωγή γ) με ακτινοβολία. Στη γη εμφανίζονται και οι τρεις τρόποι (Καρυδάκης, 2005).

3.1.2 Ενθαλπία

Η ενθαλπία αναφέρεται στην ικανότητα που έχουν τα σώματα να αποθηκεύουν θερμότητα και ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας ενός σώματος ή συστήματος η οποία απαιτείται (με αντιστρεπτό τρόπο) για την αύξηση της θερμοκρασίας του από το απόλυτο μηδέν, μέχρι της θερμοκρασίας T του σώματος ή του συστήματος. Μεταξύ της κατάστασης του σώματος και της ενθαλπίας του, υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία. Η μεταβολή της ενθαλπίας (dH') ισούται με το γινόμενο της ειδικής θερμότητας υπό σταθερή πίεση (c_p) επί τη μεταβολή της απόλυτης θερμοκρασίας (dT):

$$dH' = c_p \cdot dT \quad (\text{KJ/kg})$$

Είναι χαρακτηριστικό ότι η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων γίνεται με βάση την ενθαλπία τους ως γεωθερμικά πεδία χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Οφείλεται δε στο ότι η ενθαλπία καλύπτει αφενός τη θερμοκρασιακή κατάσταση και αφετέρου την αποθηκευτική θερμική ικανότητα του σώματος, η οποία εκφράζεται με την ειδική θερμότητα. Η μέτρηση λοιπόν της ειδικής θερμότητας στη γεωθερμία είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της αποθηκευμένης ποσότητας θερμότητας στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς (Καρυδάκης, 2005).

3.1.3 Θερμική αγωγιμότητα

Ονομάζεται η ικανότητα ενός υλικού να επιτρέπει τη μετάδοση της θερμότητας δια μέσου του. Το ποσό της θερμότητας (dQ), που μεταφέρεται διαμέσου ενός υλικού σε χρόνο t , λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας $dT = T_2 - T_1$, ισούται:

$$dQ = k' \cdot S' \cdot t \cdot dT / l'$$

k' = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού, αποτελεί τη διερχόμενη ποσότητα θερμότητας που διαχέεται δια μέσου ενός ομογενούς υλικού και εξαρτάται από τη φύση και τη φυσική κατάσταση του υλικού

S' = η διατομή του υλικού

t = ο χρόνος μεταφοράς θερμότητας

l' = το πάχος του υλικού

Η θερμική αγωγιμότητα είναι βασική γεωθερμική παράμετρος των πετρωμάτων και έχει άμεση σχέση με τη γεωθερμική βαθμίδα (είναι αντιστρόφως ανάλογα). Είναι απαραίτητη για τη μέτρηση της θερμικής ροής των πετρωμάτων. Η θερμική αγωγιμότητα των στερεών και υγρών αυξάνεται με την πίεση, γι' αυτό στα μεγάλα βάθη η αγωγιμότητα των πετρωμάτων είναι αυξημένη (Καρυδάκης, 2005).

3.1.4 Γεωθερμική Βαθμίδα

Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό της Γης, είναι η αιτία που προκαλείται κατακόρυφη ροή θερμότητας από τα βαθύτερα σημεία προς την επιφάνεια. Η θερμοκρασία αυξάνει με το βάθος, με μέσο ρυθμό 1°C για κάθε 30 m ή 30°C ανά km. Ο ρυθμός αυτός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος καλείται γεωθερμική βαθμίδα. Η γεωθερμική βαθμίδα δεν είναι βέβαια σταθερή σε όλα τα σημεία του πλανήτη, επειδή επηρεάζεται από διάφορους γεωλογικούς παράγοντες. Στις περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη, χαρακτηρίζεται θετική γεωθερμική ανωμαλία (Φυτίκας κ.α., 2004). Η μέση τιμή της γήινης γεωθερμικής βαθμίδας είναι $1,43 \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ (Καρυδάκης, 2005).

3.1.5 Θερμική Ροή

Στη γεωθερμία ως ροή θερμότητας ορίζεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα ανέρχεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης και μεταδίδεται με αγωγή, αναφέρεται δε στην κατακόρυφη διανυσματική συνιστώσα της γήινης ροής θερμότητας (Καρυδάκης, 2005).

Η ροή θερμότητας που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης, εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από τη γεωθερμική βαθμίδα και αποτελεί το γινόμενο τους. Η μέτρηση της ροής θερμότητας αναφέρεται είτε με τις μονάδες θερμικής ροής (Heat Flow Units, HFU=1 $\mu\text{cal}/\text{cm}^2.\text{s}$) είτε, με τις μονάδες mW/m^2 (Φυτίκας κ.α., 2004).

3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Τα γεωθερμικά πεδία οφείλουν την ύπαρξή τους σε συγκεκριμένες γεωτεκτονικές συνθήκες, συνδυαζόμενες με τη μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της Γης.

3.2.1 Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού πεδίου

Ένα συνηθισμένο γεωθερμικό πεδίο αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- Μία πηγή θερμότητας
- Ρευστά τα οποία είναι μεταφορείς της θερμότητας
- Έναν περατό γεωλογικό σχηματισμό που λειτουργεί ως ταμιευτήρας των ρευστών

Η πηγή της θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες 600-1200 °C), η οποία έφθασε σε σχετικά μικρά βάθη (3-10 km), είτε η γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής, που δημιουργεί όλο και θερμότερους σχηματισμούς με το βάθος.

Ο ταμιευτήρας αποτελείται ουσιαστικά από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων, που επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών, τα οποία απάγουν θερμότητα.

Τα γεωθερμικά ρευστά είναι νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης, σπάνια μαγματικής. Σε υγρή ή αέρια φάση και συχνά περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων

στερεών ουσιών και αερίων. Η κατάσταση των γεωθερμικών ρευστών εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία τους.

- 3.2.1.1 Διαδικασίες θέρμανσης ρευστών

Τα γεωθερμικά ρευστά έχουν κυρίως μετεωρική προέλευση. Η θέρμανση του κρύου νερού των επιφανειακών στρωμάτων, που κατεισδύει και συγκεντρώνεται τελικά στο θερμό υδροφορέα, ακολουθεί μια από τις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω:

α) Το νερό κατεισδύει μέσα από ρηγματώσεις μέχρι το γεωθερμικό υδροφορέα. Εκεί θερμαίνεται με αγωγή. Πηγή θερμότητας είναι κάποιος μαγματικός όγκος που βρίσκεται σε μεγάλο βάθος ή η γενική θερμική ροή της γης. Η διαδικασία αυτή συμβαίνει σε γεωθερμικά συστήματα με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία μέχρι (150°C) και με υδροφορείς σχετικά μεγάλου βάθους.

β) Το νερό του υδροφορέα κατεισδύει σε μεγαλύτερο βάθος μέσα από σχισμές και ρήγματα και πλησιάζει το μαγματικό όγκο, ο οποίος αποτελεί την πηγή θερμότητας. Κατά την κίνησή του αυτή το νερό θερμαίνεται και ανεβαίνει πάλι στο γεωθερμικό υδροφορέα, μέσα από άλλα ρήγματα, λόγω άνωσης. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή η φυσική συναγωγή παίζει τον κύριο ρόλο στη θέρμανση του νερού. Όπως είναι φυσικό στα συναγωγικά υδροθερμικά συστήματα εμφανίζονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε μικρότερα βάθη σε σχέση με τα συστήματα της προηγούμενης κατηγορίας.

γ) Το μετεωρικό νερό κατεισδύει σε μεγάλο βάθος, θερμαίνεται συναγωγικά από κάποιο μαγματικό όγκο και βράζει. Ο υδρατμός που δημιουργείται, τροφοδοτεί τον υδροφορέα του γεωθερμικού πεδίου που βρίσκεται σε μικρότερο βάθος. Οι απώλειες λόγω αγωγής από τα τοιχώματα του υδροφορέα αυτού ισοσταθμίζονται από τη συμπύκνωση μέρους του ατμού. Το συμπύκνωμα επιστρέφει στο βαθύτερο στρώμα ακολουθώντας τους μικρότερους πόρους, αντίθετα με τον ατμό που κατά την άνοδό του ακολουθεί τις ευρύτερες διόδους.

Σε όλες τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν, το γεωθερμικό ρευστό τείνει να κινηθεί προς την επιφάνεια του εδάφους μέσα από τις φυσικές διόδους του καλύμματος του υδροφορέα, λόγω υδραυλικού φορτίου και άνωσης. Αν φτάσει στην επιφάνεια σχηματίζει θερμές πηγές ή ατμίδες, που αποτελούν χαρακτηριστικά καθοδηγητικά στοιχεία για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων (Τσελεπίδου, 2008).

- 3.2.1.2 Διάκριση γεωθερμικών πεδίων

Η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων γίνεται με βάση τη θερμοκρασία τους σε:

- Χαμηλής ενθαλπίας $<90\text{ }^{\circ}\text{C}$, αξιοποιούμενα, για θερμικές χρήσεις.
- Μέσης ενθαλπίας $90 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, με δυνατότητα κυρίως αξιοποίησής τους, για θερμική χρήση και κατά περιπτώσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υψηλής ενθαλπίας $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$, αξιοποιούμενα κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

3.3 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Τα υδροθερμικά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα αέριας και υγρής φάσης, ανάλογα με τη φάση στη οποία βρίσκεται το νερό και καθορίζει την κατανομή της πίεσης στον υδροφορέα (εικόνα 3.1).

3.3.1 Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας

- 3.3.1.1 Συστήματα που περιέχουν ατμό

Στον τύπο αυτό ανήκουν τα υδροθερμικά συστήματα υψηλής ενθαλπίας, τα οποία παράγουν ξηρό ατμό. Προσφέρονται ιδιαίτερα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στους υδροφορείς των συστημάτων αυτών εκτός από τον ατμό υπάρχει και νερό σε υγρή κατάσταση, ιδιαίτερα στους μικρούς πόρους και στις επιφάνειες των ρηγμάτων. Η παρουσία της υγρής φάσης δεν καταργεί τη συνέχεια της αέριας, η οποία κυριαρχεί και καθορίζει την πίεση. Η πίεση στα συστήματα αυτά είναι πολύ μικρότερη από την υδροστατική και ομοιόμορφα κατανεμημένη.

Τα υδροθερμικά συστήματα στα οποία κυριαρχεί η αέρια φάση, διακρίνονται σε δυο υποκατηγορίες τα πεδία Larderello και Monte Amiata. Τα γεωθερμικά πεδία τύπου Larderello είναι από τα πιο αποδοτικά, αλλά και από τα πιο σπάνια. Παρέχουν ξηρό ατμό από μικρό βάθος με αρχική θερμοκρασία μεγαλύτερη από 200°C και πίεση 35 kg/cm^2 περίπου. Τα πεδία αυτά συνοδεύονται από επιφανειακές εκδηλώσεις, όπως ατμίδες, ηφαίστεια λάσπης και όξινα εδάφη. Τα γεωθερμικά πεδία τύπου Monte Amiata περιέχουν ατμό μικρότερης θερμοκρασίας

(150°C περίπου), με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλλα αέρια. Ο εντοπισμός τους είναι δύσκολος, γιατί δεν συνοδεύονται από επιφανειακές εκδηλώσεις (Τσελεπίδου, 2008).

- 3.3.1.2 Συστήματα που περιέχουν νερό

Στον τύπο αυτό ανήκουν τα υδροθερμικά συστήματα στους υδροφορείς των οποίων περιέχεται νερό σε υγρή κατάσταση, ενώ είναι δυνατό να περιέχουν και λίγο ατμό υπό μορφή φυσαλίδων.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας που περιέχουν νερό αποτελούνται κατά Φυτίκα κ.α., 2004, από μια θερμή εστία που βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος μέσα στο φλοιό της γης και έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία. Συνήθως μια τέτοια εστία αποτελείται από μαγματικές μάζες ποικίλων διαστάσεων, που διείσδυσαν στο φλοιό από μεγαλύτερα βάθη και είτε παραμένουν μέσα σ' αυτόν, είτε μερικές φορές βγαίνουν στην επιφάνεια. Όταν στις υπερκείμενες των μαγματικών περιοχές δεν κυκλοφορούν ρευστά, η μεταφορά θερμότητας στο φλοιό πραγματοποιείται μόνο με αγωγή. Κοντά στην επιφάνεια της γης, η κάπως μεγαλύτερη περατότητα των πετρωμάτων επιτρέπει την κατείσδυση των ρευστών, τα οποία θερμαίνονται σε ορισμένο βάθος από την επαφή τους με τα θερμά πετρώματα. Με αυτόν τον τρόπο γίνονται ελαφρύτερα και ανέρχονται προς την επιφάνεια, ενώ ψυχρότερα ρευστά παίρνουν τη θέση τους. Σχηματίζεται έτσι ένα σύστημα κυκλοφορίας, που έχει ως πρακτικό αποτέλεσμα τη συνεχή μεταφορά θερμότητας από το βάθος στην επιφάνεια. Για πετρώματα με την ίδια περατότητα, η σπουδαιότητα ενός μεταφορικού συστήματος είναι συνάρτηση της διαφοράς των θερμοκρασιών και της απόστασης ανάμεσα στην εστία θερμότητας και την επιφάνεια της γης. Έτσι, όσο θερμότερη και όσο πιο κοντά στην επιφάνεια είναι η εστία, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενθαλπία των ρευστών που κυκλοφορούν ανάμεσα στην επιφάνεια και στην εστία και γίνεται περισσότερο πιθανή η δημιουργία συστημάτων ατμού.

Πάνω από την εστία θερμότητας σε βάθος από 3 μέχρι 10 km, θα πρέπει να υπάρχει σειρά πετρωμάτων (συνήθως μεταμορφωμένων) τα οποία διαθέτουν κατακόρυφα συστήματα διαρρήξεων ή ρηγμάτων, που να επιτρέπουν την αργή κυκλοφορία ρευστών προς την επιφάνεια. Με την κυκλοφορία αυτή, εκτός από τη θέρμανση των πετρωμάτων που βρίσκονται σε επαφή με τα θερμά ρευστά, γίνεται και απόθεση ορυκτών.

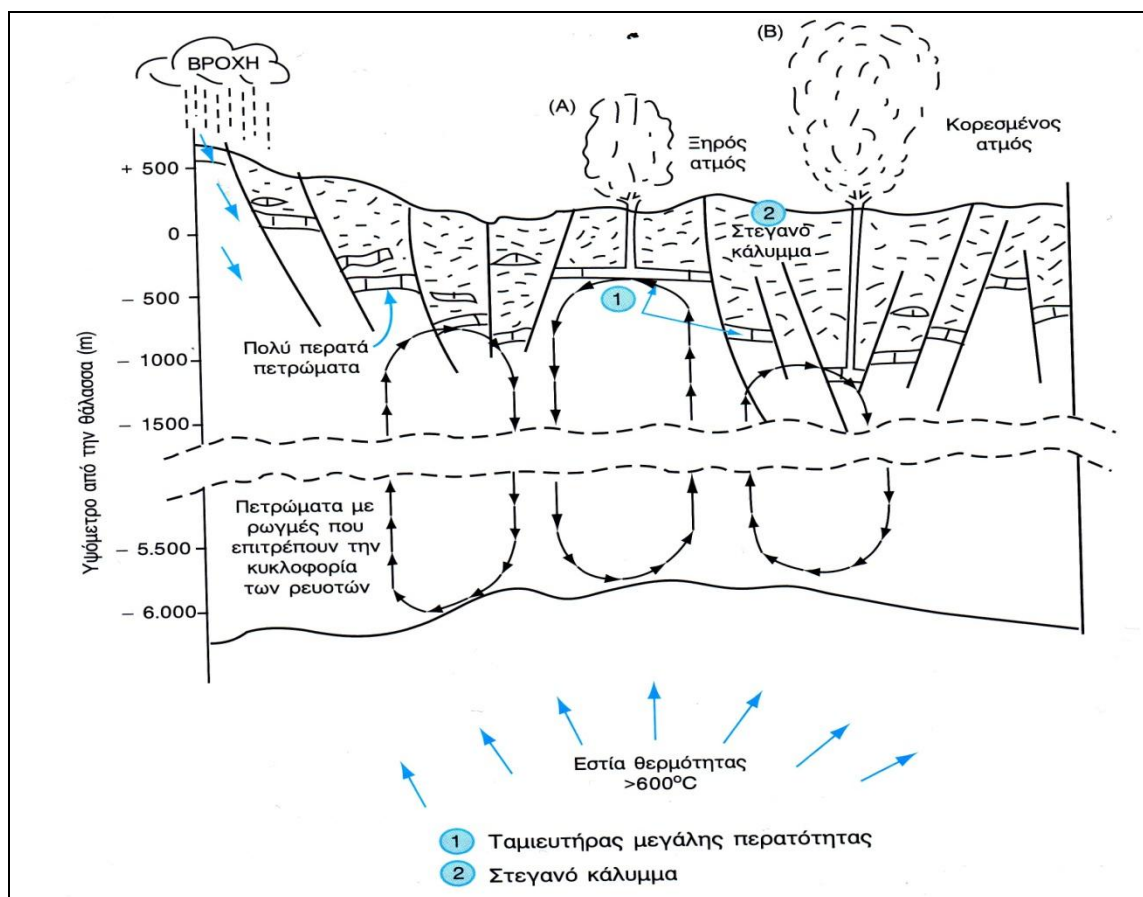
Πάνω από τη σειρά των μεταμορφωμένων συνήθως πετρωμάτων, και σε βάθος που κυμαίνεται από 300 μέχρι 3000 m, θα πρέπει να αναπτύσσεται σχηματισμός ακόμα και σε μικρό πάχος, που να χαρακτηρίζεται από μεγάλη πρωτογενή ή δευτερογενή περατότητα. Ο

σχηματισμός που μέσα σε αυτόν κυκλοφορούν ή εγκλωβίζονται τα ζεστά νερά ονομάζεται ταμιευτήρας. Ο ταμιευτήρας θα πρέπει να προστατεύεται από ένα υπερκείμενο στεγανό – διαπερατό κάλυμμα, το οποίο εμποδίζει τη διαφυγή των θερμών ρευστών προς την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα.

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται μέσα σε μια τέτοια στρωματογραφική σειρά είναι οι παρακάτω: νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης κατέρχονται λόγω βαρύτητας, θερμαίνονται και εμπλουτίζονται με άλατα και αέρια και μπαίνουν στον κύκλο της θερμικής μεταφοράς. Μέσα στον ταμιευτήρα, όπου η κυκλοφορία είναι πιο εύκολη και γρήγορη, υπάρχουν νερά (σπάνια μαζί με ατμό) κάτω από συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που βρίσκονται κοντά στο σημείο βρασμού.

Η ποσότητα του ρευστού που διέρχεται στην επιφάνεια εξαρτάται κυρίως από τη διάμετρο της γεώτρησης και από την περατότητα του ταμιευτήρα. Η ποιότητα του ρευστού που παράγεται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του ρευστού μέσα στο ταμιευτήρα, το βάθος του, η αλμυρότητα του νερού, ο βαθμός περατότητας των σχηματισμών μέσα στους οποίους πραγματοποιείται η εξάτμιση του νερού και τέλος η διάμετρος της γεώτρησης.

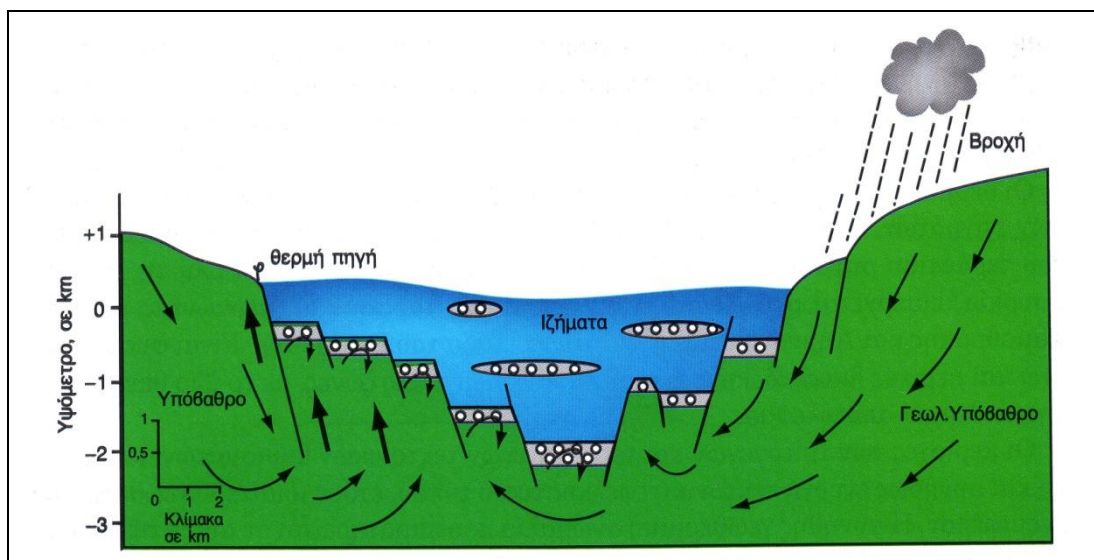
Στην Ελλάδα σήμερα υπάρχουν γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας τα οποία συνδέονται με το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου.



Εικόνα 3.1 Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος υψηλής ενθαλπίας α) με ατμό β) με νερό (Φυτίκας κ.α., 2004).

3.3.2 Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων μέσης και χαμηλής ενθαλπίας

Όταν από τις προηγούμενες συνθήκες απουσιάζει η εστία θερμότητας με τη μορφή μαγματικής διείσδυσης, τότε η θερμική ανωμαλία είναι πολύ μικρότερη ή και ανύπαρκτη. Έτσι σε περιοχές με εφελκυστικού τύπου τεκτονική, που δημιουργούν πρόσφατης ηλικίας λεκάνες, παρουσιάζεται μικρή θερμική ανωμαλία εξ αιτίας των ανοιχτών ρηγμάτων που επιτρέπουν τη σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά προς τα πάνω σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Δημιουργούνται έτσι, ευνοϊκές σχετικά συνθήκες και εφόσον συντρέχουν και οι υπόλοιποι παράγοντες (κατάλληλος ταμιευτήρας, στεγανό κάλυμμα κ.τ.λ.) για γεωθερμικά πεδία μέσης και συνήθως χαμηλής ενθαλπίας (εικόνα 3.2). Παραδείγματα στον Ελληνικό χώρο αποτελούν η περιοχή της λεκάνης του Στρυμόνα Σερρών, η λεκάνη Μυγδονίας και η λεκάνη Αλεξανδρούπολης κ.α. (Φυτίκας κ.α., 2004).



Εικόνα 3.2 Σχηματική παράσταση γεωθερμικού μοντέλου χαμηλής ενθαλπίας σε λεκάνη από τεκτονική βύθιση. Τα θερμά ρευστά βρίσκονται ή κυκλοφορούν σε κροκαλοπαγή της λεκάνης, στην οροφή του υποβάθρου, μέσα στα ιζήματα ή κοντά σε ρήγματα. Τα βέλη δείχνουν την υπόγεια κυκλοφορία και τα ρεύματα μεταφοράς (Φυτίκας κ.α., 2004).

3.4 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Σε περιοχές με μη ευνοϊκές γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες, είναι επίσης δυνατή η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας, σε πολύ μικρά βάθη, η οποία αποτελεί την αβαθή γεωθερμία.

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια καλείται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών, που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25°C. Η περίπτωση αυτή αποτελεί την αβαθή υπεδafική θερμότητα, η οποία είναι μία περιβαλλοντική ενέργεια, όταν μάλιστα μέρος αυτής, κυρίως στα βάθη των 0-30m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης. Στα βάθη 0-15m το ποσοστό της θερμότητας ηλιακής προέλευσης γίνεται εμφανές, αυξανόμενο καθώς μικραίνει η απόσταση από την εδαφική επιφάνεια και καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Η περιβαλλοντική θερμική ενέργεια αξιοποιείται με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες αποτελούν σήμερα σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού των ρυπογόνων καυσίμων (Παπαγεωργάκης, 1992).

3.5 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου και συνδέονται με την Πλειοκαινική – Πλειστοκαινική ηφαιστειότητα του συγκεκριμένου χώρου. Πρόκειται για τα πεδία της Μήλου και της Νισύρου, των οποίων το βεβαιωμένο γεωθερμικό δυναμικό ξεπερνά τα 25 MWe εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος, ενώ το εκτιμώμενο υπερβαίνει τα 250 MW (Chatziyannis, 2007).

Στη Μήλο, το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας εμφανίζει θερμοκρασίες στον πυθμένα των παραγωγικών γεωτρήσεων της τάξης 280°C – 320°C, ενώ το βάθος του ταμιευτήρα εντοπίζεται στα 1000 – 1380 m (Ι.Γ.Μ.Ε , 1997). Το βεβαιωμένο γεωθερμικό δυναμικό του πεδίου είναι 150 MW (Μενδρινός, κ.α., 2010).

Στη Νίσυρο, βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας παρουσιάζει θερμοκρασίες στον πυθμένα των παραγωγικών γεωτρήσεων μεγαλύτερες των 350°C, ενώ το βάθος του ταμιευτήρα εντοπίζεται στα 1400 – 1900 m (Ι.Γ.Μ.Ε , 1997). Το βεβαιωμένο γεωθερμικό δυναμικό του πεδίου είναι 50 MW (Μενδρινός, κ.α., 2010).

Περιοχές με γεωθερμικούς ταμιευτήρες μέσης ενθαλπίας είναι οι ιζηματογενής Τριτογενής λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας, όπως η λεκάνη του Στρυμόνα με θερμοκρασίες 90°C στην περιοχή του Ακροποτάμου, το Δέλτα του Νέστου με θερμοκρασίες στην περιοχή Κεραμωτής έως και 160°C, στη λεκάνη Αλεξανδρούπολης με θερμοκρασίες 85°C, αλλά και στη νήσο Σαμοθράκη με 100°C και τη Λέσβο (Στύψη και Πολιχνίτος έως 90°C) (Kolios et al., 2007; Μενδρινός, κ.α., 2010).

Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας βρίσκονται διάσπαρτα σχεδόν σε όλη την επικράτεια. Σύμφωνα με το Ι.Γ.Μ.Ε , 1997 αξιόλογα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας υπάρχουν:

Λεκάνη Αλμωπίας (Αριδαία 24-40°C), Λεκάνη Θεσσαλονίκης 25-65°C, Λεκάνη Ανθεμούντα 27-38°C, Λεκάνη Μυγδονίας (Λαγκαδάς 33-40°C, Νυμφόπετρα 39-46°C, Ν. Απολλωνία 40-56°C), Χαλκιδική (Ν. Τρίγλια 33-42°C, Αγ.Παρασκευή 41°C, Σάνη – Άφυτος 35-45°C), Λεκάνη Στρυμόνα (Θερμά Νιγρίτας 40-63°C, Σιδηρόκαστρο 30-75°C, Ηράκλεια 40-60°C), Δέλτα του Νέστου (Ερατεινό 70-90°C, Ν.Εράσμιο 46-65°C) , Λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής (Ν. Κεσσάνη 45-81°C, Σάπρες 34-41°C), στη Χίο (Νένητα 25-80°C, Θυμιάνα 28-32°C), Νίσυρο 25-95°C, Β.Εύβοια (Αιδηψός 78-82°C, Λιχάδες 28-41°C), Λήμνος 44°C, Λεκάνη Σπερχειού (Θερμοπούλες 37-39°C, Καμένα Βούρλα 24-48°C, Υπάτη

33°C, Πλατύστομο 25-35,5°C), Σουσάκι Κορινθίας, Μέθανα 32-38°C, Κίμωλος 25-61°C, Σαντορίνη 25-70°C, Κύθνος 52°C, Κως 45°C, Συκές Άρτας 40-51°C, Κόνιτσα (Καβάσιλα 31-32°C), Ρίζα Αντιρρίου 38°C.

Στην Κρήτη έχει εντοπιστεί γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Η περιοχή βρίσκεται 7-8km βόρεια της Ιεράπετρας, σε υψόμετρο 150 μέτρων. Μετά από θερμομετρήσεις που έγιναν σε γεωτρήσεις της περιοχής προέκυψαν τα αποτελέσματα που δείχνουν μια θερμική ανωμαλία σε βάθος 100-150 μέτρων που αποδίδει στην περιοχή μια γεωθερμική βαθμίδα σχεδόν διπλάσια της κανονικής και κατά συνέπεια γεωθερμικό ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, και με βάση τη γεωλογία της περιοχής, προκύπτουν στοιχεία που μπορούν να τεκμηριώσουν το γεωθερμικό ενδιαφέρον για αναζήτηση γεωθερμικών ρευστών με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 25°C (Chatzigiannis et al., 2013 υπό εκτύπωση).

Η κατανομή των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας, που εντοπίζονται στον ελληνικό χώρο παρουσιάζεται στο χάρτη της εικόνας 3.5.

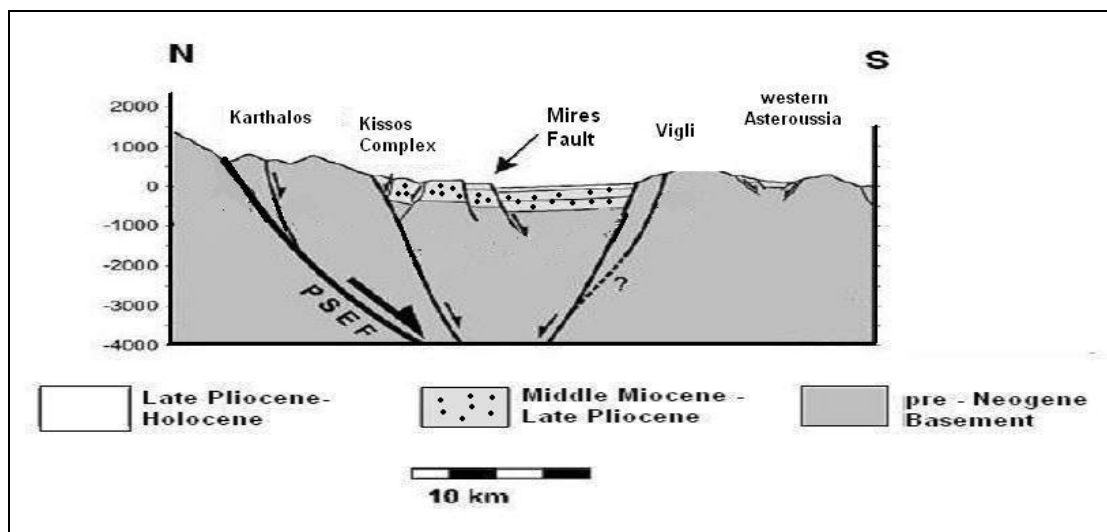


Εικόνα 3.3 Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Ελλάδας (ΙΓΜΕ)[2]

3.5.1 Οι γεωθερμικές συνθήκες της περιοχής μελέτης

Στην υπολεκάνη των Μοιρών, διαφαίνεται αρχικά να επικρατούν αντίστοιχες γεωτεκτονικές συνθήκες με το μοντέλο γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας έτσι όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω.

Βιβλιογραφικά (Peterek et al., 2004; ten Veen et al., 2003,1999; Κριτσωτάκης, 1999) αναφέρονται μεγάλες εναλλαγές μεταξύ λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων υλικών στα κλαστικά ιζήματα της λεκάνης. Οι εναλλαγές αυτές είναι ικανές να οδηγήσουν σε δημιουργία παγίδων κατάλληλων να εγκλωβίσουν νερά. Η παρουσία μεγάλου πάχους πρόσφατων αποθέσεων δύναται να λειτουργήσει ως κάλυμμα, ικανό να εγκλωβίσει θερμότητα σε βαθύτερους σχηματισμούς. Επιπλέον, η ρηξιγενής τεκτονική που εντοπίζεται (Peterek et al., 2004; Βασιλάκης, 2006 κ.ά.) στο χώρο αποτελεί δυνατή δίοδο, τόσο για τη κάθοδο των ψυχρών μετεωρικών νερών που ενισχύουν το υδάτινο δυναμικό, όσο και για τη γρήγορη άνοδο των νερών μετά τη θέρμανσή τους στο βάθος.



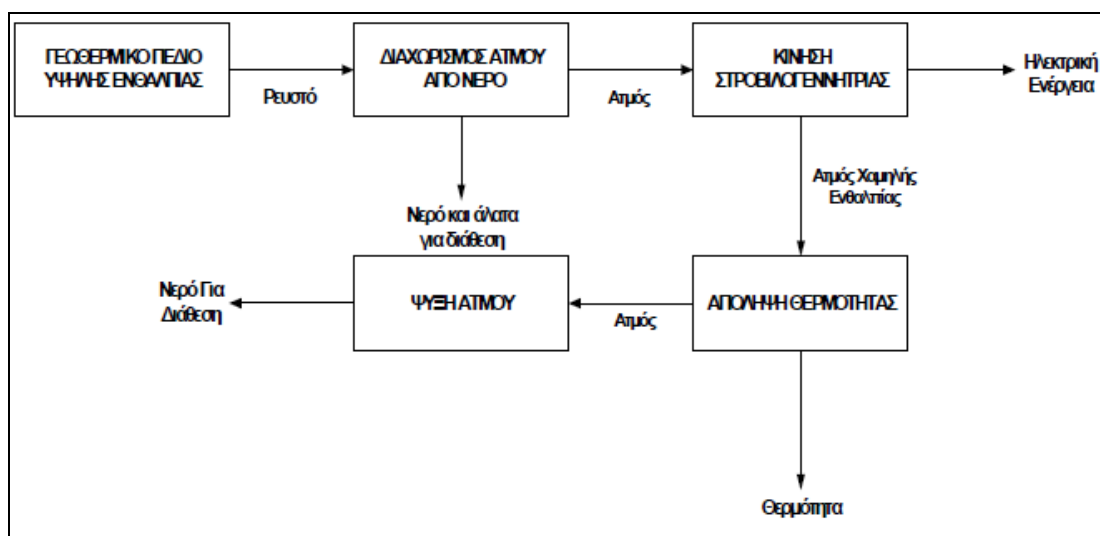
Εικόνα 3.4 Γεωλογική σχηματική τομή της περιοχής των Μοιρών (Peterek et al., 2004 μετά από επεξεργασία)

Το μοντέλο χαμηλής ενθαλπίας, έτσι όπως περιγράφεται και απεικονίζεται στην εικόνα 3.2 (Φυτίκα κ.α., 2004), φαίνεται να ανταποκρίνεται δυνητικά και στην περιοχή μελέτης, έτσι όπως αυτή παρουσιάζεται από τη σχηματική τομή (εικόνα 3.4) από Peterek et al., 2004. Στην τομή, η οποία περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή της υπολεκάνης των Μοιρών και είναι εμφανείς, τόσο οι σχηματισμοί του Νεογενούς όσο οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί. Οι τελευταίοι, διαφαίνεται να διαθέτουν ικανό πάχος και τα βαθύτερα στρώματά τους με ικανό πορώδες, να είναι δυνατόν να λειτουργούν ως παγίδες του γεωθερμικού δυναμικού, ενώ τα πιο επιφανειακά στρώματα και με μικρό πορώδες, να αποτελούν κάλυμμα του ταμιευτήρα μονώνοντας θερμικά τους περατούς σχηματισμούς. Ενώ, διακρίνεται σαφώς και η ρηξιγενής τεκτονική που χαρακτηρίζει όλη τη λεκάνη της Μεσσαράς.

3.6 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3.6.1 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας

Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4 ο ατμός υψηλής ενθαλπίας μετά το διαχωρισμό του από το νερό κινεί μια στοβιλογεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του ο ατμός, αφού εκτονωθεί στο στρόβιλο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή επιπλέον θερμότητας. Το γεωθερμικό ρευστό μετά την πρόσδοση της ωφέλιμης ενέργειας θα πρέπει να διατεθεί στο περιβάλλον ή να εισαχθεί ξανά με κατάλληλη βοηθητική γεώτρηση στο γεωθερμικό πεδίο. Οι εγκαταστάσεις αυτού του είδους είναι ισχύος από λίγες δεκάδες KW έως ορισμένα MW (Τσελεπίδου, 2008).



Εικόνα 3.5 Διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (Τσελεπίδου, 2008).

Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα, δεν υφίσταται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεωθερμία. Οι προσπάθειες που έγιναν από τη ΔΕΗ στη δεκαετία του 1980, με εγκατάσταση πιλοτικής γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής μονάδας 2 MW στη Μήλο, δεν τελεσφόρησαν για λόγους που σχετίζονται με τη γεωθερμία, αλλά καθαρά με διαχειριστικά προβλήματα και σφάλματα που οδήγησαν τελικά στην έντονη αντίδραση των κατοίκων και τελικά στο οριστικό κλείσιμο της μονάδας (Παπαχρήστου, κ.α., 2009).

3.6.2 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα έχουν άμεσες χρήσεις κυρίως σε θερμικές εφαρμογές. Εφαρμογές των ρευστών αποτελούν:

- Θέρμανση χώρων. Εφαρμόζετε σε δύο κτίρια των λουτροπόλεων της Τραϊανούπολης και της Ν. Απολλωνίας, σε μια ξενοδοχειακή μονάδα στη Μήλο και σε ένα δημόσιο κτίριο στη Θράκη (Φυτίκας κ.α., 2004).
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφους. Σήμερα υπάρχουν 27 γεωθερμικά θερμοκήπια σε όλη τη χώρα (με σύνολο εγκατεστημένης ισχύος 25MW), 25 από τα οποία καλύπτουν πλήρως τις ενεργειακές τους ανάγκες με γεωθερμία. Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών γίνεται απευθείας, χωρίς την ενδιάμεση χρήση εναλλακτών θερμότητας (Παπαχρήστου, κ.α., 2009).
- Λουτροθεραπεία. Στην Ελλάδα λειτουργούν πάνω από 60 λουτροπόλεις, ενώ από όσα κέντρα λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, μόνο δύο αξιοποιούν τα γεωθερμικά νερά και για τη θέρμανση των εγκαταστάσεών τους. Λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοκρασίες των γεωθερμικών νερών και τη συνολική παροχή τους, με μια συντηρητική εκτίμηση υπολογίζεται πως η συνολική θερμική ισχύς τους ανέρχεται σε 38-40MW και θα μπορούσε έτσι να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών των εγκαταστάσεών σε θέρμανση και δροσισμό (Παπαχρήστου, κ.α., 2009).
- Βιομηχανικές χρήσεις. Στην Ελλάδα λειτουργεί μια μονάδα αποξήρανσης ντομάτας στο Ν. Εράσμιο της Ξάνθης η οποία χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό 60°C. Η μονάδα αυτή λειτουργεί μαζί με μονάδα εδαφικής θέρμανσης σε καλλιέργεια σπαραγγιών (Φυτίκας κ.α., 2004).
- Υδατοκαλλιέργειες και Ιχθυοκαλλιέργειες. Σε μονάδα του πεδίου Νιγρίτας εφαρμόζεται εδώ και μερικά χρόνια η καλλιέργεια σπιρουλίνας, με ταυτόχρονη ανάκτηση και χρήση του CO₂, που διαχωρίζεται από το γεωθερμικό νερό και τροφοδοτεί τις δεξαμενές καλλιέργειας (Fournadzieva, 2002). Η θέρμανση των δεξαμενών ιχθυοκαλλιέργειας στο Πόρτο Λάγος και στο Ν. Εράσμιο Ξάνθης γίνεται για λόγους αντιπαγετικής προστασίας και προστασίας των ειδών από την απότομη πτώση της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται γεωθερμικά νερά από γεωτρήσεις 34°C και 60°C αντίστοιχα. (Παπαχρήστου, κ.α., 2009).

3.6.3 Εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας είτε τα αβαθή υπόγεια νερά, είτε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους. Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές, εποχιακές και ημερήσιες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης (Παπαγεωργάκης, 1992). Εφαρμογές θέρμανσης από εκμετάλλευση αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας υπάρχουν εγκατεστημένες σε κατοικίες, σε γραφεία και σε δημόσια κτίρια όπως το κτίριο των Μεταλλειολόγων του Ε.Μ.Π, το πρώην δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης και το κτίριο του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Πικέρμι (Φυτίκας κ.α., 2004).

3.7 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η γεωθερμία γενικά αποτελεί μια φιλική περιβαλλοντικά πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της μπορεί να επιφέρει κάποιες μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ανάλογα με τη φύση και το χημισμό των ρευστών. Οι σημαντικότερες αφορούν την εκμετάλλευση ρευστών υψηλής ενθαλπίας σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής εξαιτίας των πιθανών εκπομπών αερίων όπως το CO₂ ή το H₂O. Οι εκπομπές αυτές είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τις μονάδες συμβατικών καυσίμων, είναι σπάνιες και μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση κατάλληλης τεχνολογίας και την ολική επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα μετά τη χρήση τους, κάτι που αποτελεί την πλέον συνηθισμένη πρακτική παγκοσμίως (Φυτίκας κ.α., 2004).

Η αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας δεν προκαλεί κανενός είδους εκπομπή αερίων ρύπων. Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα μπορούσε να επιφέρει είναι η χρήση γης, ο θόρυβος, η πτώση του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, οι κατολισθήσεις και η αύξηση της μικροσεισμικότητας μιας περιοχής, με τις δύο τελευταίες να έχουν καταγραφεί εξαιρετικά σπανίως σε παγκόσμιο επίπεδο. Η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα και ο σωστός σχεδιασμός μιας γεωθερμικής εφαρμογής ουσιαστικά μηδενίζει τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Παπαχρήστου, κ.α., 2009).

4. ΤΟ ΡΑΔΟΝΙΟ

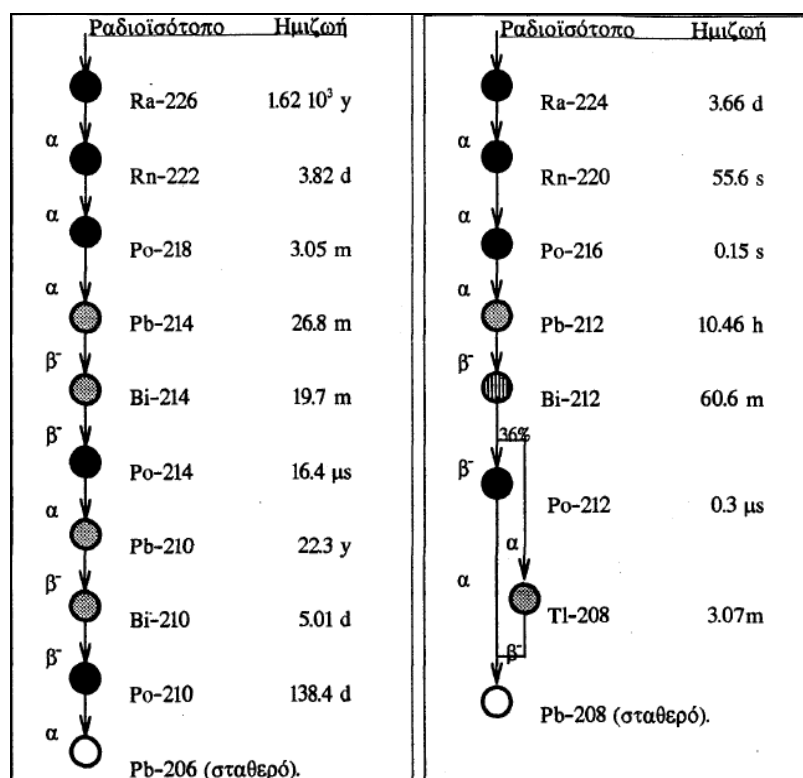
Το ραδόνιο είναι χημικό στοιχείο με σύμβολο Rn και έχει ατομικό αριθμό 86. Πρόκειται για ένα στοιχείο που ανήκει στα αμέταλλα και συγκεκριμένα στην ομάδα των ευγενών αερίων. Είναι ραδιενεργό και ένα από τα βαρύτερα αέρια. Συναντάται στο περιβάλλον, αλλά και στον ανθρώπινο οργανισμό. Προέρχεται από τα πετρώματα και διαμέσου αυτών εκλύεται στο νερό και την ατμόσφαιρα. Το ραδόνιο ανακαλύφθηκε το 1900 από τον Friedrich Ernst Dorn [3].

4.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ

Το ραδόνιο είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο ευγενές αέριο. Προέρχεται από πετρώματα, εντοπίζεται σε πετρώματα, έδαφος και νερό και παράγει προϊόντα διάσπασης στον αέρα. Έχει θερμοκρασία τήξης $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ και θερμοκρασία βρασμού $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$. Είναι γνωστά σήμερα 23 ισότοπα του στοιχείου, τα πλέον κοινά όμως είναι ^{222}Rn (ραδόνιο), ^{220}Rn (θορόνιο) και ^{219}Rn (ακτινόνιο). Αυτά τα τρία ισότοπα παράγονται από την ραδιενεργή διάσπαση του ραδίου (Ra) και είναι αντίστοιχα μέλη των φυσικών ραδιενεργών σειρών του ^{238}U , ^{232}Th και ^{235}U . Οι παραπάνω ραδιενεργοί πυρήνες, που είναι επικεφαλής των ραδιενεργών σειρών, έχουν χρόνους ημιζωής μεγαλύτερους ή συγκρίσιμους με την ηλικία του πλανήτη. Ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις αυτών των αρχέγονων συστατικών του φλοιού της γης είναι ευρέως διαδεδομένες στην φύση. Το στοιχείο αυτό μπορεί να εκλύεται από τα στερεά υλικά του φλοιού της γης στο περιβάλλον και επομένως είναι παρόν στον αέρα και το νερό. Όλα τα ισότοπά του είναι ραδιενεργά. Οι χρόνοι ημιζωής για τα σημαντικότερα από αυτά, το ^{222}Rn , ^{220}Rn και ^{219}Rn είναι 3.82 days, 56 sec και 4 sec αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι μόνο το ^{222}Rn ισότοπο είναι δυνατόν να βρίσκεται σε σημαντική ποσότητα στον αέρα, αφού έχει ικανό χρόνο ώστε να διαφύγει από το έδαφος και να εμφανιστεί στον αέρα σε σημαντικές ποσότητες (Wilkening, 1990; Nazaroff et al., 1988a).

Το ^{222}Rn , παράγεται κατά την άλφα διάσπαση του ^{226}Ra , δίδει ένα σύνολο ραδιενεργών ισοτόπων τα ονομαζόμενα θυγατρικά ισότοπα του ραδονίου (εικόνα 4.1). Αυτά χωρίζονται σε δύο ομάδες, τα βραχύβια θυγατρικά ισότοπα: ^{218}Po (RaA), ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC) και ^{210}Po (RaC), με χρόνους ημιζωής μικρότερους των 30 min και τα μακρόβια θυγατρικά ισότοπα: ^{210}Pb (RaD), ^{210}Bi (RaE) και ^{210}Po (RaF), με χρόνους ημιζωής μεγαλύτερους της μιας ημέρας (εικόνα 4.1). Το ^{220}Rn (θορόνιο), με χρόνο ημιζωής 55 sec, παράγεται κατά την άλφα διάσπαση του ^{224}Ra και δίδει μία σειρά από

άλλα τέσσερα βραχύβια θυγατρικά ισότοπα, από τα οποία το σημαντικότερο είναι ο ^{212}Pb . Το ^{219}Rn (ακτινόνιο), προϊόν της άλφα διάσπασης του ^{223}Ra , είναι λίαν βραχύβιο με χρόνο ημιζωής 3.96 sec. Η μεγάλη διάφορα στους χρόνους ημιζωής του Ραδονίου (3.823) και του Θορονίου (55 sec) επηρεάζει τόσο την εκροή τους από το έδαφος και τα παραγόμενα από αυτό οικοδομικά υλικά, όσο και την διασπορά αμοιτέρων άρα και την συγκέντρωση τους στην ατμόσφαιρα (Στούλος, 1998).



Εικόνα 4.1 Σχηματικό διάγραμμα διάσπασης ^{226}Ra και ^{224}Ra . Δίπλα στα θυγατρικά ισότοπα αναγράφονται οι χρόνοι ημιζωής. Δίπλα από τα βέλη που δείχνουν τις διασπάσεις σημειώνεται το είδος της διάσπασης (Στούλος, 1998).

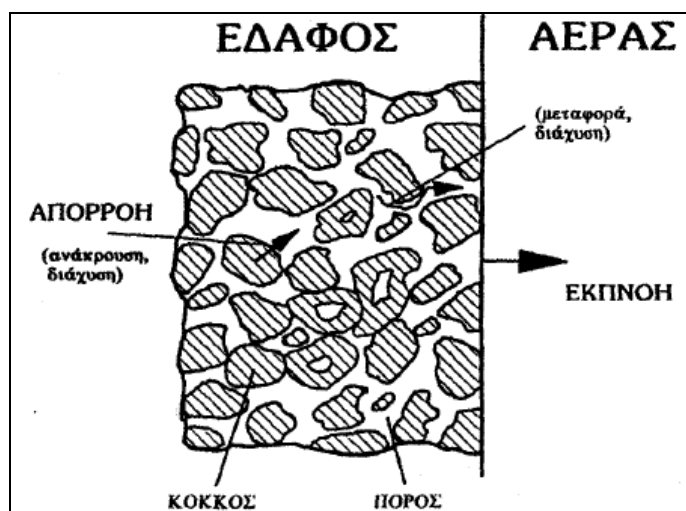
4.1.1 Το θορόνιο

Το θορόνιο ανακαλύφθηκε από τον Ernest Rutherford και αποτελεί ένα από τα δύο πιο κοινά ισότοπα του ραδονίου ^{222}Rn (Πατήρης, 2009). Είναι φυσικό ραδιενεργό, χημικά αδρανές, ευγενές αέριο, προϊόν της σειράς διάσπασης ραδίου (Ra) και μέλος της ραδιενεργής σειράς του θορίου (^{232}Th). Το ισότοπο του ραδίου ^{224}Ra διασπάται με χρόνο ημιζωής 3,66 μέρες δίνοντας το θορόνιο, το οποίο με περαιτέρω α – διασπάσεις καταλήγει στο σχηματισμό του σταθερού ισότοπου του μολύβδου (^{208}Pb). Το θορόνιο εντοπίζεται στα πετρώματα μαζί με τα πατρικά του ραδιονουκλίδια. Ποσοστό του θορονίου που είναι εγκλωβισμένο στα πετρώματα ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ή διαλύεται στο υπόγειο

νερό (Πούλιος, 2003). Ο χρόνος ημιζωής του θορονίου όμως είναι σχετικά μικρός, 55.6 sec, οπότε το μεγαλύτερο ποσοστό τού δεν προλαβαίνει να διαχυθεί από τα πετρώματα και έδαφος προς την ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια στις μετρήσεις ραδονίου, το ποσοστό συνεισφοράς του θορονίου θεωρείται συνήθως αμελητέο (Πατήρης, 2009). Ωστόσο, η παράληψη του θορονίου μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση της συγκέντρωσης του ραδονίου ^{222}Rn (Nikezic et al., 1998).

4.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ

Στους κόκκους του εδάφους βρίσκεται το ^{226}Ra κατά διάσπαση του οποίου παράγεται το ραδόνιο, που με τη σειρά του αποσπάται από τους κόκκους και εισέρχεται στον χώρο των πόρων (emanation process) του εδάφους. Κινούμενο εντός των πόρων το ραδόνιο διαφεύγει από την επιφάνεια του υλικού και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα (exhalation process) (εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2 Απορροή στους πόρους του εδάφους και εκπονή στην ατμόσφαιρα του ραδονίου (Στούλος, 1998).

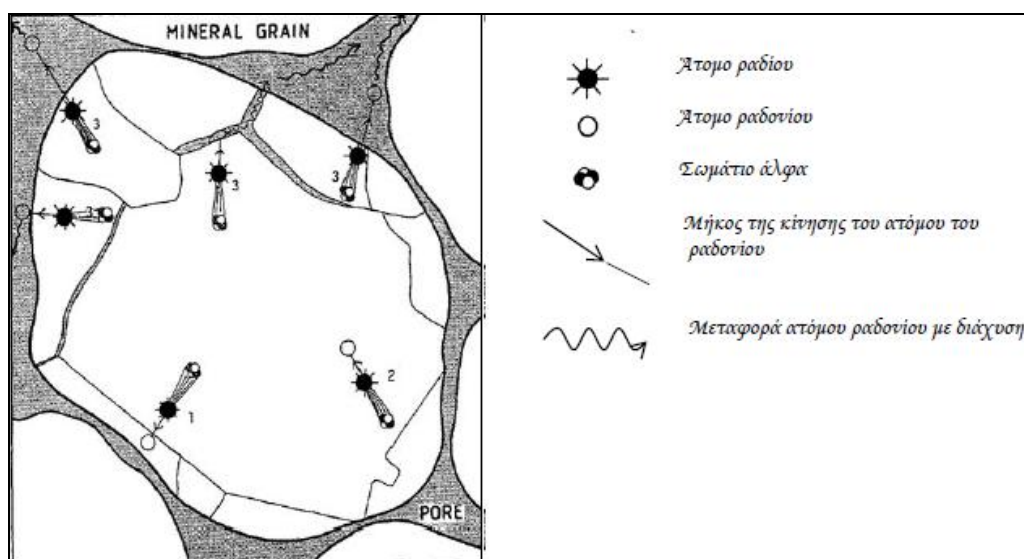
4.2.1 Απορροή

Απορροή (emanation) ραδονίου από τους κόκκους πορώδους υλικού καλείται το φαινόμενο κατά το οποίο το ραδόνιο που παράγεται από την άλφα διάσπαση του εγκλωβισμένου σ' αυτούς ^{226}Ra , διαφεύγει από τους κόκκους και εισέρχεται στον χώρο των πόρων του υλικού. Το ποσοστό από το συνολικά παραγόμενο ραδόνιο, που τελικά εισέρχεται στους πόρους του υλικού στην μονάδα του χρόνου ορίζεται ως παράγοντας απορροής του ραδονίου. Οι μηχανισμοί μέσω των οποίων λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της

απορροής του ραδονίου είναι, κατά κύριο λόγο, η ανάκρουση του πυρήνα του ραδονίου κατά την διάσπαση του ^{226}Ra (recoil emanation) και κατά δευτερεύοντα λόγο, η διάχυση του ραδονίου από τους κόκκους (diffusion emanation) (Στούλος, 1998).

Κατά τη διαδικασία σχηματισμού και μεταφοράς του ραδονίου στους κόκκους των ορυκτών διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις (εικόνα 4.3):

- Όταν διασπάται ένα άτομο ραδίου, παράγονται ένα άτομο ραδονίου και ένα σωματίο άλφα. Το άτομο του ραδονίου κινείται σε ένα παρακείμενο κρύσταλλο με το φαινόμενο της ανάκρουσης.
- Το άτομο του ραδονίου κινείται μέσα στον κρύσταλλο του ορυκτού.
- Το άτομο του ραδονίου μετακινείται από τον κρύσταλλο σε κάποιο γειτονική μικρή σχισμή ή στο χώρο κάποιου γειτονικού πόρου. Η παραπέρα μεταφορά γίνεται με το φαινόμενο της διάχυσης (Βογιάννης, 2005).



Εικόνα 4.3 Διαδικασία εκπομπής και απορροής ραδονίου (Durrani et al., 1997)

Οι συγκεντρώσεις ραδονίου και θορονίου στον εδαφικό αέρα ή στο υπόγειο νερό καθορίζονται: α) από την συγκέντρωση του ραδίου στο περιβάλλον έδαφος ή πέτρωμα, β) από τον αριθμό των ατόμων του ραδονίου που εκπέμπονται στον χώρο των πόρων του ορυκτού, μέσα στο οποίο αυτό δημιουργείται, γ) το πορώδες και την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους, δ) από τον τρόπο που το ραδόνιο απάγεται ή τροφοδοτεί τους πόρους, δηλαδή με διάχυση ή με συναγωγίμες κινήσεις του εδαφικού αερίου, του νερού, ή των αναδυομένων αερίων όπως CO_2 και CH_4 (Amin et al., 1995; Sun et al., 1995; Baixeras et al., 1997; Escobar et al., 1999).

4.2.2 Μεταφορά

Η μεταφορά του ραδονίου μέσα στο έδαφος οφείλεται είτε στο φαινόμενο της διάχυσης, είτε στην κίνηση των αερίων που υπάρχουν στα διάκενα του εδάφους, που είναι το CO₂ και το CH₄ ή του νερού, είτε σε συνδυασμό αυτών των φαινομένων. Η κίνηση του αέρα μπορεί να οδηγηθεί από τον άνεμο, τις αλλαγές στην πίεση και την διεισδύουσα βροχή ή το λειωμένο χιόνι ενώ μια άλλη αιτία μπορεί να είναι οι διαφορές θερμοκρασίας στο έδαφος (Βογιάννης, 2005).

Επειδή το ραδόνιο έχει περιορισμένο χρόνο ζωής το μεγαλύτερο μέρος του διασπάται αφού διανύσει μια ικανή απόσταση λόγω διάχυσης. Για παράδειγμα το 90% του ραδονίου που εκπέμπεται από μια πηγή ραδονίου βαθιά στο έδαφος και μεταφέρεται με διάχυση, θα έχει διασπασθεί μετά από απόσταση 5 cm στο νερό, περίπου 2 m σε αμμώδες έδαφος με κανονική υγρασία και 5 m στον αέρα (Thang et al., 1995; Sun et al., 1998).

4.2.3 Εκπνοή

Εκροή ή εκπνοή (exhalation) ραδονίου καλείται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα ποσοστό του ραδονίου που απορρέει από τους κόκκους τους εδάφους και κινείται εντός των πόρων αυτού, διαφεύγει τελικά από την επιφάνεια του εδάφους πριν διασπαστεί και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα. Από τη στιγμή που παράγεται, το αέριο ραδόνιο διαφεύγει από τους πόρους και τις ρωγμές των πετρωμάτων και εισέρχεται στην ατμόσφαιρα όπου διαχέεται γρήγορα (Κασινάλης, 2008).

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των ραδιοϊσοτόπων του ραδονίου στον αέρα γενικά εξαρτάται από τη θέση, το χρόνο, το ύψος επάνω από το έδαφος και από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η διάδοση του ραδονίου στην ατμόσφαιρα μετά από την εκπνοή του από το έδαφος οφείλεται στην αέρια ανάμιξη και περιορίζεται από τη ραδιενεργό διάσπαση και την εναπόθεση στη γήινη επιφάνεια (Σεφτέλης, 2007).

Η διακύμανση των συγκεντρώσεων του ραδονίου σχετίζεται με παράγοντες που την επηρεάζουν, όπως είναι οι μετεωρολογικοί. Σ' αυτούς συμπεριλαμβάνονται η θερμοκρασία, η πίεση και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Fujiiyosh et al., 2006). Έχουν μελετηθεί, μεγάλες εποχιακές μεταβολές της συγκέντρωσης του ραδονίου στα υπόγεια ρεύματα αέρα οι οποίες προκαλούνται εξαιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς του εδαφικού και ατμοσφαιρικού αέρα (Sandal et al., 2004). Μετρήσεις της ροής του ραδονίου από το έδαφος σε συνδυασμό με μετεωρολογικές παρατηρήσεις, έδειξαν ότι η ροή του ραδονίου

από το έδαφος ακολουθεί ένα εποχιακό μοτίβο. Η μέγιστη εκπονή λαμβάνει χώρα τους τελευταίους καλοκαιρινούς μήνες λόγω χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία στα εδάφη, το χειμώνα παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα εκπονής εξαιτίας των παγωμένων εδαφών και τήξης του χιονιού, ενώ την άνοιξη τα επίπεδα διατηρούνται χαμηλά λόγω των αυξημένων βροχοπτώσεων (Kitto, 2005).

4.3 ΤΟ ΡΑΔΟΝΙΟ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

Η διαλυτότητα του ^{222}Rn στο νερό είναι μικρή, ελαττώνεται επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να περιμένει κανείς μικρές ποσότητες ^{222}Rn στο νερό (Al-Azmi et. al., 2004). Είναι όμως σχετικά μεγάλη αν αυτή συγκριθεί με την διαλυτότητα άλλων αερίων (στους 10°C είναι 61 φορές μεγαλύτερη από αυτή του οξυγόνου). Όμως το ζήτημα είναι αρκετά πολύπλοκο όταν πρόκειται για υπόγεια νερά, εκεί πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι συνθήκες που επικρατούν κατά την διάλυση και την μεταφορά του από τις υδάτινες μάζες, καθώς επίσης να εξετασθεί η ύπαρξη πρόγονων πυρήνων μέσα στη μάζα του νερού, από τους οποίους μπορεί να δημιουργηθεί και να διαφύγει ^{222}Rn (Βογιάννης, 2005).

Κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης και της αύξησης των σταγόνων της βροχής ένα εξαιρετικά μικρό ποσό ^{222}Rn από τον αέρα περικλείεται σ' αυτήν, έτσι στο νερό της βροχής περιέχονται περίπου 50 Bq/m^3 ($1,4 \text{ pCi/L}$). Στα επιφανειακά νερά περικλείεται ένα ποσό μικρότερο των 2.000 Bq/m^3 . Τα υπόγεια νερά τα οποία έρχονται σε επαφή με πετρώματα και εδάφη με κανονικά ποσοστά ουρανίου και ραδίου, περιέχουν ένα σημαντικό ποσό διαλυμένου ^{222}Rn που μπορεί να ποικίλει από 20 έως 44.000 Bq/m^3 (Wilkening, 1990; Karahan et al., 2000; Schwartz, 2003).

Στις περιπτώσεις εκείνες όπου το υπόγειο νερό συναντά ή διαπερνά πετρώματα με υψηλές τιμές περιεκτικότητας σε ουράνιο ή ράδιο, αναμένονται υψηλότερες συγκεντρώσεις ^{222}Rn σ' αυτό. Έχουν αναφερθεί συγκεντρώσεις με εξαιρετικά ευρεία κλίμακα τιμών από σχεδόν μηδέν μέχρι τιμές της τάξης μεγέθους 10^6 Bq/m^3 (Βογιάννης, 2005).

4.3.1 Το ραδόνιο στο υπόγειο νερό

Όσο πλησιέστερα βρίσκεται ένα πέτρωμα στον υδροφόρο ορίζοντα τόσο περισσότερο νερό περιέχουν οι πόροι του, επομένως η συγκέντρωση του ραδονίου στον κενό χώρο των πόρων αυξάνεται. Στο επίπεδο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα όλοι οι

πόροι είναι γεμάτοι με νερό, το ραδόνιο που εκπέμπεται από το πέτρωμα διαλύεται στο νερό. Κανονικά το ραδόνιο που εκπέμπεται από το πέτρωμα στους γεμάτους νερό πόρους είναι σε ισορροπία με αυτό που διασπάται (Vasarhelyi et al., 1997). Το ραδόνιο παραμένει εν διαλύσει και ακολουθεί την πορεία του νερού. Μόνο στις περιπτώσεις όπου η κίνηση του νερού είναι γρήγορη, υπάρχει διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων (Segovia et al., 1999; Zalewski et al., 2001). Το ραδόνιο έχει έντονη παρουσία σε περιπτώσεις που το υπόγειο νερό κινείται κοντά σε ρήγματα ή σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα ή ακόμα και μέσα από καρστικές κοιλότητες, όπου το ραδόνιο μπορεί να είναι εγκλωβισμένο (Mommnin et al., 1992; Monnin et al., 1997; Segovia et al., 1997b). Γενικά, είναι σημαντική η συσχέτιση των γεωλογικών σχηματισμών ενός τόπου με την ύπαρξη ^{222}Rn στο υπόγειο νερό (Gillmore et al., 2000).

4.4 Η ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η πηγή του ραδονίου αποτελούν τα ισότοπα του ραδίου τα οποία σχηματίζονται ως αποτέλεσμα των ραδιενεργών σειρών που απαντώνται στη Γη. Οι συγκεντρώσεις τους εξαρτώνται τοπικά από την ποσότητα των αρχικών πυρήνων ουρανίου και θορίου της κάθε σειράς. Καθώς τα ισότοπα του ραδίου βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση στο έδαφος από ότι στον ατμοσφαιρικό αέρα, τα εδάφη γύρω από τις κατοικίες αλλά και τα οικοδομικά υλικά αποτελούν συνήθως τις κύριες πηγές έκλυσης του ραδονίου στο ανθρώπινο περιβάλλον (Nazaroff et al., 1988a; Stranden, 1988; UNSCEAR, 2000).

Άλλες δευτερεύουσες πηγές έκλυσης του αερίου είναι το νερό του υπεδάφους, τα διάφορα φυσικά αέρια, ιαματικές πηγές κ.α. Αυτές σε σχέση με το έδαφος θεωρούνται υποδεέστερες (Nero, 1988; Nazaroff et al., 1988b; UNSCEAR, 2000) αν και σε ειδικές περιπτώσεις όπως γύρω από ιαματικές πηγές θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Στους εσωτερικούς και όχι καλά αεριζόμενους χώρους η συγκέντρωσή του ^{222}Rn μπορεί να ανέλθει σε επίπεδα ικανά να αποτελέσουν σοβαρό κίνδυνο για την υγεία (Πατήρης, 2009).

Σύμφωνα με UNSCEAR, 2000 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) το 47% της συνολικής ετήσιας δόσης που δέχεται ο μέσος κάτοικος του πλανήτη εξαιτίας των φυσικών ραδιενεργών πηγών οφείλεται στο ραδόνιο και στα επίσης ραδιενεργά θυγατρικά του.

Μακροχρόνιες έρευνες έδειξαν ότι η δράση του ραδονίου ανάλογα με τις συνθήκες διαβίωσης και την κατάσταση του αέρα των εσωτερικών χώρων, έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και συγκεκριμένα σε καρκινογενέσεις στην περιοχή της αναπνευστικής οδού (Βογιάννης, 2005).

4.4.1 Διάδοση σε εσωτερικούς χώρους

Η συγκέντρωση του ραδονίου στις κατοικίες οφείλεται, από την ποσότητα του ραδονίου που εισέρχεται ή απορρέει από το έδαφος που τις περιβάλλει και τα οικοδομικά υλικά των κατοικιών, αφού αυτά περιέχουν το ισότοπο ^{226}Ra , το οποίο παράγει με την διάσπαση του το ραδόνιο, καθώς και από την παροχή νερού ή φυσικού αερίου, εφόσον τόσο το νερό όσο και το φυσικό αέριο μεταφέρουν το ραδόνιο, που απορρέει από τα γύρω πετρώματα του υδροφόρου ορίζοντα ή του κοιτάσματος φυσικού αερίου, αντίστοιχα, δια των αγωγών μεταφοράς στο εσωτερικό των κατοικιών. Η εισροή - απορροή του ραδονίου επηρεάζεται από τις μεταβολές των μετεωρολογικών παραμέτρων, μεταβολές οι οποίες μακροπρόθεσμα τροποποιούν και τον ρυθμό εξαερισμού στις κατοικίες, επιδρώντας με τον τρόπο αυτό στην συγκέντρωση του ραδονίου και των προϊόντων διάσπασης του (Στούλος, 1998).

- **4.4.1.1 Τα πετρώματα και το έδαφος**

Σύμφωνα με τη μελέτη σκοπιμότητας από Νικολόπουλος et al., 1997 η κυριότερη πηγή ραδονίου που επηρεάζει εκείνους που ζουν πλησίον του εδάφους, όπως σε ισόγεια ή ημιυπόγεια, είναι το ^{226}Ra που προέρχεται από τα πετρώματα και εντοπίζεται σε πετρώματα και έδαφος. Αν το ραδόνιο θα οδεύσει στο εσωτερικό μιας κατοικίας εξαρτάται και από τη διαπερατότητα του εδάφους. Εδάφη με υψηλή διαπερατότητα παρουσιάζουν και υψηλούς ρυθμούς εκροής ραδονίου. Πετρώματα που είναι δυνατόν να παράγουν πολύ ραδόνιο όπως τα γρανιτικά, τα ηφαιστειακά, και τα κοιτάσματα λιγνιτών που από τη φύση της δημιουργίας τους παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδίου. Επίσης εδάφη μολυσμένα με παραπροϊόντα εξόρυξης εμπλουτισμού και περαιτέρω επεξεργασίας ουρανίου παρουσιάζουν και αυτά υψηλούς ρυθμούς εκροής ραδονίου. Υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου στο γήινο αέριο, παρατηρούνται σε περιοχές που υπάρχουν ιαματικές πηγές, μεγάλα φυσικά σπήλαια, παλαιά ορυχεία και ενεργά τεκτονικά ρήγματα. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση, των φυσικών σπηλαίων, των παλαιών ορυχείων και γενικότερα των στοών στο έδαφος, αυτά λειτουργούν ως συσσωρευτές ραδονίου που παράγεται στα γύρω πετρώματα. Τεκτονικά

ρήγματα επιτρέπουν στο ραδόνιο που παράγεται από πετρώματα σε μεγάλα βάθη, να οδεύσει προς την επιφάνεια.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που ωθεί το ραδόνιο στο εσωτερικό μιας κατοικίας και μάλιστα στα διαμερίσματα που είναι πλησιέστερα στο έδαφος, είναι η διαφορά πίεσης η οποία είναι δυνατό να παρουσιαστεί μεταξύ της κατοικίας και του εδάφους. Η εισροή του ραδονίου στο εσωτερικό είναι ευθέως ανάλογη της διαφοράς πίεσης και του ρυθμού εκπνοής από το όμορο έδαφος, πλην όμως μπορεί να περιοριστεί αν οι επιφάνειες της κατοικίας που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος είναι στεγανές. Αν αυτό δε συμβαίνει τότε η υποπίεση που επικρατεί συνήθως στο εσωτερικό μιας κατοικίας δημιουργεί συνθήκες αναρρόφησης ραδονίου από το έδαφος προς το κτίριο.

- 4.4.1.2 Τα οικοδομικά υλικά

Τα οικοδομικά υλικά, προερχόμενα από υλικά του στερεού φλοιού της Γης, εμπεριέχουν όλα τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία, ανάμεσα τους και το ^{226}Ra που παράγει με τη διάσπαση του το ραδόνιο αποτελώντας έτσι, πηγή ραδονίου στις κατοικίες. Στα οικοδομικά υλικά, το πρόβλημα επικεντρώνεται κυρίως στο τσιμέντο, λόγω της χρήσης πτητικής τέφρας, η οποία προέρχεται από την καύση λιγνιτών για την παραγωγή ενέργειας. Γενικά, τα οικοδομικά υλικά που έχουν κατασκευασθεί με πρώτες ύλες από πετρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε ράδιο, θα έχουν και αυτά με τη σειρά τους αυξημένο ράδιο (Στούλος, 1998).

- 4.4.1.3 Παροχές νερού

Μία άλλη πηγή ραδονίου, λιγότερο σημαντική, είναι το νερό της βρύσης. Συνήθως η συγκέντρωση του ραδονίου στο νερό είναι μικρή, αλλά το νερό ορισμένων πηγαδιών είναι εξαιρετικά ραδιενεργό.

Για την είσοδο του υπογείου νερού που εμπεριέχει ^{222}Rn σε εσωτερικούς χώρους, στις περισσότερες των περιπτώσεων χρησιμοποιείται το δημόσιο σύστημα ύδρευσης και έτσι κατά την όδευση του νερού στο δίκτυο, όχι μόνο αερίζεται, με αποτέλεσμα να διαφεύγει το περιεχόμενο ^{222}Rn , αλλά και μέχρι να χρησιμοποιηθεί έχει διασπασθεί στα θυγατρικά. Όταν όμως δεν συμβαίνει αυτό και χρησιμοποιούνται ιδιωτικές γεωτρήσεις και διαφόρου είδους πηγές τότε η ποσότητα του είναι αισθητά μεγάλη (Κασινάλης, 2008).

- 4.4.1.4 Ατμοσφαιρικός Αέρας

Ο ατμοσφαιρικός αέρας δρα κατά κανόνα ως διαλύτης, λόγω της χαμηλής συγκέντρωσής του σε ραδόνιο. Παρόλα αυτά σε μερικές περιπτώσεις, όπως σε διαμερίσματα που βρίσκονται σε ορόφους άνω του δευτέρου και τα οποία έχουν χτιστεί με οικοδομικά υλικά χαμηλής συγκέντρωσης σε ράδιο, ο ατμοσφαιρικός αέρας παραμένει η κύρια πηγή ραδονίου για τους εσωτερικούς χώρους. Η συγκέντρωση ραδονίου στον ατμοσφαιρικό αέρα εξαρτάται κυρίως από την ατμοσφαιρική πίεση και παρουσιάζει ταλαντώσεις με υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της νύχτας (Νικολόπουλος et al., 1997).

- 4.4.1.5 Παροχές φυσικού αερίου

Σε αρκετές περιοχές το φυσικό αέριο θέρμανσης έχει αυξημένες συγκεντρώσεις ραδονίου. Το ραδόνιο αυτό ελευθερώνεται με την καύση. Φυσιολογικά αυτή η πηγή ραδονίου δεν είναι σημαντική και μπορεί να ελέγχεται τόσο στις γραμμές μεταφοράς όσο και στα κέντρα διανομής φυσικού αερίου (Νικολόπουλος et al., 1997).

4.4.2 Αποτελέσματα του ραδονίου στην υγεία

Το ^{222}Rn και το ^{220}Rn εκπεμπόμενα από το έδαφος, το νερό και τα πλούσια σε ουράνιο πετρώματα και υλικά διαχέονται στον αέρα. Επειδή είναι ευγενή αέρια αναμειγνύονται με διάχυση ή με συναγωγίμες κινήσεις, με τα άλλα συστατικά του αέρα χωρίς σημαντικές επιδράσεις. Τα προϊόντα διάσπασης του ραδονίου είναι συνήθως θετικά φορτισμένα ιόντα, γεγονός που δίνει την δυνατότητα σε αυτά να προσκολλώνται σε αιωρούμενα σωματίδια ή να σχηματίζουν συσσωματώματα με τα μόρια του νερού ή του οξυγόνου και στη συνέχεια να προσκολλώνται στα αιωρούμενα σωματίδια. Όλα αυτά τα φαινόμενα εξαρτώνται από το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, το πλήθος, την υγρασία, την βαρομετρική πίεση και από άλλους παράγοντες. Με την εισπνοή τα συσσωματώματα ή τα προσκολλημένα σωματίδια επικάθονται σε διαφορετικά σημεία της αναπνευστικής οδού. Στη συνέχεια μπορούν να απομακρυνθούν με την δράση του επιθηλίου ή να μεταφερθούν στην περιοχή των πνευμονικών κυψελίδων. Με την διάσπασή του το θυγατρικό εκπέμπει α - σωματίο εκθέτοντας σε ραδιενέργεια τα γειτονικά κύτταρα. Αυτή είναι η αθροιστική άλφα δόση στους πνευμονικούς ιστούς η οποία είναι υπεύθυνη για

κάθε παρατηρούμενο αποτέλεσμα στην ανθρώπινη υγεία, προεξάρχοντος του καρκίνου των πνευμόνων στην περίπτωση που υπάρχει αρκετή έκθεση (El-Hussein et al., 1998; Villalobos et al., 1999; Becker, 2002; Godoy et al., 2002; Kendall et al., 2002).

4.5 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Τα τελευταία χρόνια αυξημένο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της έκλυσης του ραδονίου και ο τρόπος που αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη στη γεωλογία. Ο εντοπισμός ουρανίου και πετρελαίου, ο καθορισμός γεωθερμικών πηγών ενέργειας, η χαρτογράφηση ρηγμάτων, η πρόγνωση σεισμών, η μελέτη των ηφαιστειών είναι αντικείμενα στα οποία η συστηματική έρευνα ραδονίου μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες.

4.5.1 Πρόγνωση σεισμών

Στη σεισμολογία, πιστεύεται ότι η αύξηση των τάσεων στο εσωτερικό της γης πριν από ένα σεισμικό γεγονός, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της συγκέντρωσης του ραδονίου σε πόρους και διαρρήξεις στην επιφάνεια της γης. Κατά τη σεισμική δραστηριότητα, αλλαγές της ροής των υπογείων ρευστών αντιστοιχούν σε έντονες μεταβολές στη συγκέντρωση του ραδονίου και των θυγατρικών του (Steinitz et al., 2003). Παρά τη σύνθετη συμπεριφορά του φλοιού της γης, φαίνεται πως υπάρχει μια απλή συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του ραδονίου στο έδαφος και των σεισμών. Έτσι δημιουργείται η προσδοκία ότι η μέτρηση του ραδονίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόδρομο φαινόμενο σεισμών (Dipak et al., 2007). Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται να εξετάζεται αν οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις του ραδονίου οφείλονται σε άλλες τεκτονικές διεργασίες ή στην επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία) (Planinic et al., 2001).

4.5.2 Ανίχνευση κοιτασμάτων ουρανίου

Το ^{222}Rn ως προϊόν διάσπασης του ^{238}U , εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις σε περιοχές όπου η ποσότητα του ουρανίου είναι τέτοια έτσι ώστε να σχηματίζει οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα. Έτσι η μέτρηση του ραδονίου και των θυγατρικών του μπορεί να συμβάλει στην οριοθέτηση ενός πιθανού κοιτάσματος ουρανίου. Οι μετρητές ραδονίου τοποθετούνται για χρονικό διάστημα τέτοιο, ώστε να επέλθει ισορροπία μεταξύ του

ραδονίου και των θυγατρικών του και στη συνέχεια υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις τους μέσω της καταγραφής των α – διασπάσεων κατά το σχηματισμό τους (Jeffrey et al., 1982).

4.5.3 Έρευνα γεωθερμικών πεδίων

Τα υδροθερμικά συστήματα είναι συνήθως εμπλουτισμένα με το αέριο ραδόνιο, το οποίο μεταφέρεται κατά την αέρια φάση, στην επιφάνεια του εδάφους μέσω ρωγμών και ζωνών διάρρηξης. Η κίνηση αυτή του ραδονίου είναι πιθανό να ενισχύεται λόγω της ροής θερμότητας προς την επιφάνεια της γης. Επομένως, η μέτρηση του εκλυόμενου ραδονίου θα μπορούσε να αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο εύρεσης ενός πιθανού γεωθερμικού πόρου, μειώνοντας ταυτόχρονα το υψηλό κόστος γύρω από την έρευνα των γεωθερμικών πεδίων (Whitehead et al., 1983).

4.5.4 Ανίχνευση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων

Υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου έχουν συνδεθεί με κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Μέταλλα όπως το ουράνιο πιστεύεται ότι συσσωρεύονται σε κοιτάσματα πετρελαίου, λόγω του αναγωγικού περιβάλλοντος και της δυνατότητας δημιουργίας πηκτής (gel) από οργανικά μόρια. Όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα, το ^{222}Rn είναι προϊόν της ραδιενεργούς διάσπασης του ^{235}U (Dyck, 1968). Από Gates et al., 1977 αναφέρεται ότι τα υπό πίεση κοιτάσματα υδρογονανθράκων προκαλούν αυξημένα ποσοστά της διάχυσης του ραδονίου στην επιφάνεια και κατά συνέπεια εντοπίζονται ανωμαλίες στα ποσοστά του ραδονίου, τα οποία είναι εύκολα ανιχνεύσιμα από τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν αρχικά για την εξερεύνηση ουρανίου.

4.5.4 Εντοπισμός ρηγμάτων

Έχει δειχθεί ότι υψηλά επίπεδα του ραδονίου εκλύονται κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων του φλοιού της γης. Η έκλυση του ραδονίου είναι σημαντικά υψηλότερη κατά μήκος των ρηγμάτων, στα υπόγεια νερά και ιδιαίτερα στις πηγές που συνδέονται άμεσα με τα ρήγματα. Ενώ επίσης, υποστηρίζεται ότι τα τεκτονικά ρήγματα επιτρέπουν στο ραδόνιο που παράγεται από τα πετρώματα σε μεγάλα βάθη να οδεύσει προς την επιφάνεια.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από Ioannides et al., 1996 για τη μελέτη της έκλυσης του ραδονίου από ρηξιγενείς ζώνες και τη συσχέτιση της με την ενεργοποίησή τους, επιλέχθηκαν περιοχές στις οποίες υπάρχουν ενεργά σεισμικά ρήγματα. Πραγματοποιήθηκε

λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση των ρηγμάτων και εντοπίστηκαν τα πιο ενεργά των τμημάτων τους, όπου εγκαταστάθηκαν δίκτυα μέτρησης του ραδονίου και συγκεκριμένα, πλαστικοί ανιχνευτές τύπου CR-39 σε σωλήνες στο έδαφος, σε προεπιλεγμένους σταθμούς στις περιοχές ρηγμάτων και σε σειρές ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε η διασπορά τους να είναι όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτική. Τα αποτελέσματα έδειξαν ικανοποιητική αντιστοιχία της έκλυσης του ραδονίου σε σχέση με τα ρήγματα.

4.6 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.6.1 Τεχνικές μέτρησης συγκεντρώσεων του ραδονίου

Η μεγάλη συχνότητα με την οποία συναντάται το ^{222}Rn στο περιβάλλον, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις που επιφέρει στην ανθρώπινη υγεία οδήγησαν στην ανάπτυξη πολλών μεθόδων για τον προσδιορισμό του, οι περισσότερες από τις οποίες στηρίζονται στην αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας α και γ με τον εκάστοτε ανιχνευτή. Για την ταξινόμηση των μεθόδων μέτρησης του ραδονίου, στη διεθνή βιβλιογραφία, χρησιμοποιούνται τρία κριτήρια: i. ανάλογα με την διάρκεια έκθεσης-μέτρησης της συσκευής, σε τεχνικές στιγμιαίων δειγματοληψιών (grab sampling), μέθοδοι συνεχούς καταγραφής (continuous monitoring) και μέθοδοι χρονικά ολοκληρωμένων μετρήσεων (time-integrated measurements), ii. ανάλογα με το εάν απαιτείται ή όχι ηλεκτρική ισχύς και τεχνικό προσωπικό για την λειτουργία της συσκευής μέτρησης, σε ενεργητικές και παθητικές αντίστοιχα και iii. ανάλογα με το είδος των σωματιδίων-ακτίνων που μετρά το σύστημα μέτρησης, σε μεθόδους που προσδιορίζουν την συγκέντρωση του ραδονίου και των προϊόντων διάσπασης του (μετρούν σωματίδια άλφα) και σε αυτές που προσδιορίζουν μόνο τη συγκέντρωση των προϊόντων διάσπασης του ραδονίου (μετρούν σωματίδια βήτα ή ακτίνες γάμμα).

Στις τεχνικές στιγμιαίων δειγματοληψιών λαμβάνεται μικρός σχετικά όγκος αέρα και οδηγείται σε έναν ενεργητικό ανιχνευτή, όπου και μετράται. Το αποτέλεσμα είναι μια τιμή που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση ραδονίου στον αέρα, τη στιγμή της δειγματοληψίας. Στις τεχνικές συνεχούς καταγραφής μετράται συνεχώς η συγκέντρωση του ραδονίου από μερικά λεπτά, έως και αρκετές μέρες, με τη βοήθεια ενεργητικών ανιχνευτών. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο τιμών που αντιστοιχούν στις συγκεντρώσεις ραδονίου στον αέρα, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Το σύνολο αυτών των τιμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λεπτομερή παρακολούθηση των μεταβολών της συγκέντρωσης

ραδονίου με το χρόνο. Στις ολοκληρωμένες τεχνικές πραγματοποιούνται μετρήσεις συγκέντρωσης ραδονίου για χρονικό διάστημα, από μερικές ημέρες έως αρκετούς μήνες. Χρησιμοποιούνται ενεργητικοί και παθητικοί ανιχνευτές, ενώ το αποτέλεσμα των μετρήσεων είναι μια τιμή που αντιστοιχεί στο μέσο όρο, όλων των πραγματικών συγκεντρώσεων εντός του διαστήματος της μέτρησης (Νικολόπουλος et al., 1997).

- 4.6.1.1 Οι κυριότερες τεχνικές παθητικών ανιχνευτών

Ανιχνευτές καταγραφής ιχνών

Οι ανιχνευτές πυρηνικών ιχνών (Solid State Nuclear Track Detectors SSNTD) από άποψη ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι μονωτικά υλικά σε στερεά φάση. Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κατάλληλης μάζας προσπέσει σε επιφάνεια του ανιχνευτή, αλληλεπιδρά με τα μόρια της επιφανείας προκαλώντας ιονισμό και δημιουργείται ένα ίχνο. Με την επίδραση καυστικών διαλυμάτων τα ίχνη αυτά μεγεθύνονται ώστε να είναι ορατά με οπτικό μικροσκόπιο. Ως πρώτη ύλη για την παρασκευή ανιχνευτών πυρηνικών ιχνών συνήθως χρησιμοποιούνται πολυμερή πλαστικά. Εκτός από το χαμηλό τους κόστος, είναι ανθεκτικά υλικά, εύκολα στη χρήση, με αυξημένη ευαισθησία στην καταγραφή σωματιδίων. Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανιχνευτών είναι οι ανιχνευτές CR-39 (polyallyl di-glycol carbonate), οι LR-115 (cellulose nitrate) και οι ανιχνευτές Makrofol (bisphenol-A polycarbonates) (Πατήρης, 2009). Η χρήση των ανιχνευτών αυτών, είναι εύκολη, χαμηλού κόστους και αξιόπιστη. Μειονεκτούν ως προς την εξαγωγή των αποτελεσμάτων η οποία δε γίνεται επί τόπου αλλά μετά από ανάλυση των ανιχνευτών σε εξειδικευμένο εργαστήριο. Επίσης οι ανιχνευτές καταγραφής ιχνών είναι μιας χρήσης.

Ανιχνευτές προσρόφησης ενεργού άνθρακα

Κατά τη μέθοδο καταγραφής αυτή το ραδόνιο προσροφάται στην επιφάνεια του ενεργού άνθρακα για κάποιο χρονικό διάστημα. Συνήθως μερικών ημερών. Η γ – ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις διασπάσεις της αλυσίδας του ραδονίου, μετράται σε κάποιον ειδικό ανιχνευτή που συνήθως είναι ένας ανιχνευτής NaI(Tl) ή ένας ανιχνευτής Ge. Ο ρυθμός απορρόφησης του ραδονίου είναι ανάλογος της συγκέντρωσης του τελευταίου στην ατμόσφαιρα και του χρόνου έκθεσης (Bohicchio, 1995). Η τεχνική είναι χαμηλού κόστους και ικανοποιητικής ακρίβειας και δίνει ιδιαίτερα γρήγορα αποτελέσματα. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου έγκειται στο ότι ο ολοκληρωτικός της χρόνος περιορίζεται σε μερικές μόνο μέρες διότι ο ενεργός άνθρακας προσροφά υγρασία, η οποία

τον εμποδίζει να προσροφήσει επιπλέον ραδόνιο. Δε μπορεί επομένως, να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της συγκέντρωσης για μεγάλα διαστήματα. Επειδή η μετρούμενη ποσότητα είναι το προσροφημένο ραδόνιο, οι ανιχνευτές πρέπει να στέλνονται σε εργαστήριο συχνά, έτσι ώστε ο ρυθμός εκπομπής ακτινοβολίας από τις διασπάσει της αλυσίδα του ραδονίου να είναι μετρήσιμος. Μετά την καταμέτρηση ο ανιχνευτής θερμαίνεται για την απελευθέρωση της υγρασίας και έτσι μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί (Νικολόπουλος et al., 1997).

Ανιχνευτές Θαλάμου Ιόντων Electret

Η λειτουργία τους στηρίζεται στη μείωση του επιφανειακού δυναμικού μιας ηλεκτροστατικά φορτισμένης πλάκας. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη παρουσία ιόντων στο θάλαμο του ανιχνευτή εξαιτίας των σωματιδίων άλφα του ^{222}Rn . Ανάλογα με τον τρόπο σχεδιασμού της πλάκας οι μετρήσεις μπορεί να είναι μακράς ή βραχείας διάρκειας ενώ με κατάλληλη βαθμονόμηση, η μείωση του δυναμικού της πλάκας μας οδηγεί στη μέση τιμή της συγκέντρωσης του ραδονίου (United States Environmental Protection Agency, 1992).

- 4.6.1.2 Τεχνική ενεργητικών ανιχνευτών

Οι ενεργητικοί ανιχνευτές απαιτούν ενέργεια για τη λειτουργία τους, για το λόγο αυτό περιέχουν μικρή μπαταρία, η οποία παρέχει εφεδρική ισχύ σε περίπτωση διακοπής ρεύματος κατά τη λειτουργία τους. Αυτές οι μέθοδοι μετρήσεων περιλαμβάνουν ανιχνευτές κυψελίδων σπινθηρισμών (scintillation cells), θαλάμων ιονισμού (ionisation chamber) και ανιχνευτές στερεάς κατάστασης (solid-state detectors). Η συνεχής δειγματοληψία επιλέγεται σε περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση του ραδονίου εξαρτάται από το χρόνο. Τα αποτελέσματα που εξάγονται αφορούν τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του ραδονίου για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της δειγματοληψίας, τα οποία αποθηκεύονται και είναι δυνατό να μεταφορτωθούν σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (Cinga, 2005). Η εφαρμογή μεθόδων αυτών επιτρέπει την δίχως επιτήρηση καταμέτρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ακόμα και με τη χρήση συστημάτων εσωτερικής τροφοδοσίας. Γενικά έχουν μεγάλο κόστος και μέγεθος και για την εγκατάστασή τους συνήθως απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό.

4.6.2 Τιμές συγκεντρώσεων ραδονίου σε υδάτινα δείγματα στον Ελληνικό χώρο

Τα όρια για το πόσιμο νερό που προέρχεται από δημόσιο δίκτυο ύδρευσης έχουν προσδιοριστεί από την Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2001 και από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, 2006.. Σύμφωνα με τη σύσταση της Επιτροπής για τα κράτη μέλη της Ε.Ε., δεν απαιτούνται διορθωτικές δράσεις εάν η συγκέντρωση ραδονίου σε νερό παρεχόμενο στα πλαίσια δημόσιας ή εμπορικής δραστηριότητας δε ξεπερνά τα 100 Bq/l. Ενώ καθιστά υποχρεωτική τη λήψη μέτρων με σκοπό την προστασία από ακτινοβολία για τιμές συγκεντρώσεων ραδονίου σε πόσιμα ύδατα, μεγαλύτερες των 1000 Bq/l. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας συστήνει τη λήψη μέτρων για τιμές συγκεντρώσεων μεγαλύτερες των 100 Bq/l.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά τιμές συγκεντρώσεων του ραδονίου (Bq/m³), σε δείγματα νερού στην Ελλάδα. Τιμές προερχόμενες από σύγχρονη βιβλιογραφία.

Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές τιμές συγκεντρώσεων του ραδονίου σε νερό στην Ελλάδα

Περιοχή	Συγκέντρωση (Bq/m ³)	Τιμή	Αναφορά	Παρατηρήσεις
Εφταλού - Λέσβος	230000	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Ιαματική πηγή
Πολυχνίτος- Λέσβος	160000	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Ιαματική πηγή
Ζωοδόχος Πηγή - Λέσβος	142500	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Πηγή (πόσιμο)
Καλλονή - Λέσβος	27900	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Θερμή πηγή
Λισβόρι	27000	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Ιαματική πηγή
Θερμή	29000	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Ιαματική πηγή
Άντισσα	15800	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Πηγή (πόσιμο)
Παναγιά Κρυφτή	14700	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Θερμή πηγή
Άργεννος	22100	AM ¹	Vogiannis et al; 2004	Θερμή πηγή
Λουτρά Γέρας	10000 - 16000	R ⁴	Vogiannis et al; 2004	Θερμή πηγή
Σουρωτή - Θεσσαλονίκη	43461 ± 1046	AM ¹	Κασινάλης, 2008	Πηγή (πόσιμο)
Νέα Απολλωνία	101000	MT ²	Savidou et al., 2001	Ιδιωτική βρύση
Νικομιδινό	13000	MT ²	Savidou et al., 2001	Ιδιωτική βρύση
Λαγκαδίκια	8000	MT ²	Savidou et al., 2001	Ιδιωτική βρύση

Σχολάρι	18000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Βασιλούδι	8000	MT ²	Savidou et al., 2001	Ιδιωτική βρύση
Καβαλάρι	9000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Λαγινά	6000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Περιβολάκι	7000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Μεγάλη Βόλβη	12000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Λουτρά Βόλβης	10000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Ρέντινα	7000	Max ⁴	Savidou et al., 2001	Δημοτική βρύση
Λουτράκι - Αττική	94000±64000	AM ¹	Nikolopoulos et al., 2010	Ιαματική πηγή
Λουτράκι - Αττική	192000±164000	AM ¹	Nikolopoulos et al., 2010	Πηγή
Αττική και Κρήτη	5400	AM ¹	Nikolopoulos et al., 2008	Πόσιμο νερό
Καμένα Βούρλα	90000 - 850000	R ³	Kritidis et al., 1986	Θερμά λουτρά
Λουτρά Λαγκαδά	12000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Λουτρά Απολλωνίας	15000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Λαγκαδίκια	9300	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Στίβος	112000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Περιστερόνας	161000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Γερακαρού	19300	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Απολλωνία	19000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Νέα Μάδυτος	14500	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Μόδι	10200	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Βαμβακιά	8000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Λουτρά Βόλβης	8000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Βαγιοχώρι	40000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Νυμφόπετρα	62000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Προφήτης	16000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό

Ευαγγελισμός	14300	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Ανάληψη	13000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Δρακοντιό	112000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Κολχικό	14000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Άγιος Βασίλειος	16000	MT ²	Zouridakis et al., 2002	Πόσιμο νερό
Κορινθιακός (Αίγιο)	1000 - 10000	R ³	Pizzino et al., 2004	Υπόγειο Νερό
Λουτρά Αιδηψός	500±80 - 1270±120	R ³	Geranios et al., 2004	Ιαματικά νερά από δεξαμενή νερού
Λουτρά Αιδηψός	40±30 - 680±90	R ³	Geranios et al., 2004	Θερμή πηγή
Λουτρά Καϊάφα	3800±230	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Ιαματική πηγή
Καϊάφας Κλειδί	6300±420	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Πηγή
Λουτρά Κυλλήνης	1500±140	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Ιαματική πηγή
Βρομονέρι	13000±650	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Πηγή
Κουνουπέλι	4100±300	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Πηγή
Λουτρά Ηραίας	7900±480	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Ιαματική πηγή
Πηγή Πουρνάρι	15000±650	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Πηγή
Λουτρά Ξυλοκέρας	4000±390	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Ιαματική πηγή
Χειμαδιό	13000±640	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Γεώτρηση
Λουτρά Σελιανίτικων	2800±280	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Ιαματική πηγή
Απιδεώνας	4300±280	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Γεώτρηση
Πηγή Βρανάς	5600±450	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Πηγή
Καθολική Εκκλησία	5100±440	MT ²	Στρατικόπουλος, 2007	Γεώτρηση

¹AM= Αριθμητική Μέση Τιμή, ²MT= Μοναδική Τιμή, R³ = Εύρος Μετρηθέντων Τιμών, Max⁴ = Μέγιστη Τιμή

4.6.3 Παρουσίαση συσκευής μέτρησης

Για τη μέτρηση ραδονίου και θορονίου χρησιμοποιήθηκε το όργανο “RTM-1688-2” της εταιρίας SARAD GmbH. Πρόκειται για ένα φορητό αυτόματο αναλυτή ραδονίου (θορονίου) στον αέρα και με τον κατάλληλο εξοπλισμό μπορεί να μετρά ραδόνιο και σε νερό και έδαφος. Έχει μικρές σχετικά διαστάσεις και διαθέτει θάλαμο μετρήσεων 130ml. Δουλεύει με ρεύμα και με μπαταρία που του προσφέρει αυτονομία δεκατεσσάρων ημερών.

Ο RTM-1688-2 είναι ενεργητικός ανιχνευτής και ανήκει στην κατηγορία οργάνων με μέθοδο συνεχούς καταγραφής καθώς δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη του να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο, τη διακύμανση της συγκέντρωσης του ^{222}Rn στον αέρα που διέρχεται από το εσωτερικό του. Για την εξέταση υδάτινων δειγμάτων η μετρητική διάταξη του οργάνου περιλαμβάνει αντλία για την εξαγωγή του ραδονίου μέσω της διαταραχής του νερού και την οδήγηση του ρεύματος αέρα στο μετρητή. Το δείγμα αναρροφάται από ενσωματωμένη στη συσκευή αντλία (0.25 l/min) και η μέτρηση γίνεται σε θάλαμο με ανιχνευτή ημιαγωγού. Το μετρούμενο μέγεθος είναι η περιεκτικότητα σε Bq/m^3 ενώ ταυτόχρονα γίνεται μέτρηση και καταγραφή στη μνήμη της συσκευής των ενδείξεων από τα επίσης ενσωματωμένα στη συσκευή αισθητήρια θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης. Μέσω του λογισμικού υπάρχει επιλογή μεταξύ μονάδων SI (Bq/m^3 , $^{\circ}\text{C}$, mbar) και US (pCi/L, $^{\circ}\text{F}$, inHg).



Εικόνα 4.4 Η μετρητική συσκευή RTM-1688-2

- 4.6.3.1 Αρχή λειτουργίας- συνδεσμολογία μετρητικής διάταξης

Αρχή λειτουργίας

Η μέτρηση ραδονίου (^{222}Rn) γίνεται μέσω της μέτρησης των βραχύβιων θυγατρικών του, τα οποία παράγονται από τις διασπάσεις του ραδονίου μέσα στο μετρητικό θάλαμο της συσκευής. Αμέσως μετά από κάθε διάσπαση οι υπολειπόμενοι πυρήνες ^{218}Po , φορτίζονται θετικά για μικρό χρονικό διάστημα διότι κάποια ηλεκτρόνια «σκιάζονται» από τα εκπεμπόμενα σωματίδια α - ακτινοβολίας. Τα θετικά αυτά ιόντα οδηγούνται από τις ηλεκτρικές δυνάμεις πάνω στην επιφάνεια ενός ανιχνευτή ημιαγωγού. Ο αριθμός των ιόντων ^{218}Po που συλλέγονται πάνω στην επιφάνεια του ανιχνευτή είναι ανάλογα της συγκέντρωσης ραδονίου στο θάλαμο μέτρησης.

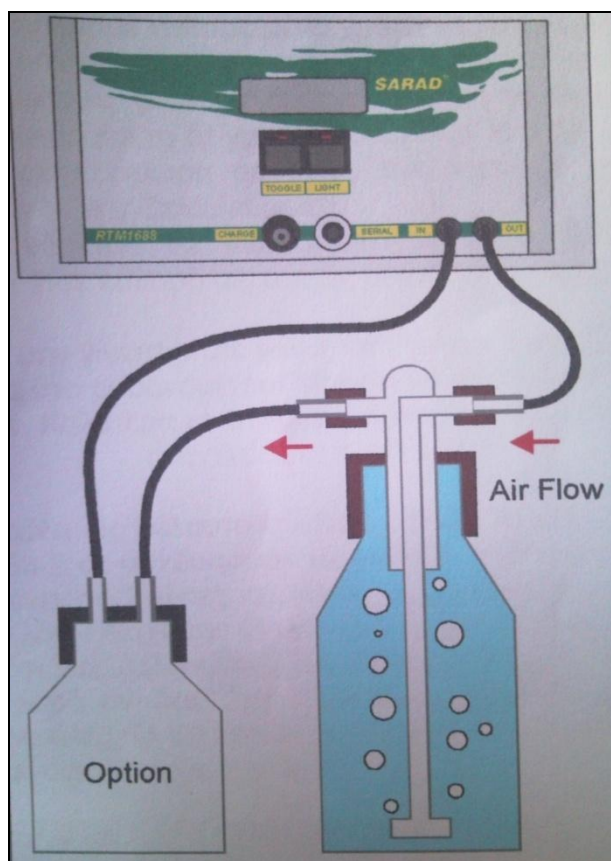
Το ^{218}Po έχει χρόνο ημιζωής μόνο 3.05 min και περίπου 50% όλων των σωματιδίων που εκπέμπονται από όλες τις διασπάσεις καταγράφονται από τον ανιχνευτή. Η ισορροπία μεταξύ διασπάσεων ραδονίου και δραστηριότητας ^{218}Po στον ανιχνευτή επέρχεται μετά από περίπου 5 χρόνους υποδιπλασιασμού, δηλαδή μετά από 15 min περίπου. Αυτός είναι και ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος απόκρισης για τη μέτρηση ραδονίου.

Η αλυσίδα διάσπασης συνεχίζει με τις β - εκπομπές ^{214}Pb και ^{214}Bi και ακολουθεί η α - εκπομπή ^{214}Po . Αυτό σημαίνει ότι κάθε διάσπαση ^{218}Po ακολουθείται από μια ακόμα ανιχνεύσιμη, από τον ανιχνευτή - α , διάσπαση ^{214}Po , για τη μέτρηση του οποίου όμως πρέπει να περάσουν περίπου 3 ώρες λόγω του χρόνου υποδιπλασιασμού των προηγούμενων νουκλιδίων. Όταν το RTM-1688-2 ρυθμίζεται στη λειτουργία Slow, τότε μετράει τις διασπάσεις ^{218}Po και ^{214}Po , ενώ στη λειτουργία Fast μετράει μόνο ^{218}Po . Η λειτουργία Fast επιλέγεται για ταχεία απόκριση σε γρήγορες μεταβολές της συγκέντρωσης, ενώ η αρχή λειτουργία Slow δίνει διπλάσια τουλάχιστον ευαισθησία και καλύτερη ακρίβεια της μέτρησης.

Για την περίπτωση του θορονίου (^{220}Rn), μετράται ο απ'ευθείας θυγατρικός πυρήνας του ^{216}Po και μέσω αυτού υπολογίζεται η συγκέντρωση θορονίου. Το ^{216}Po έχει χρόνο υποδιπλασιασμού μικρότερο του 1 sec και έτσι η ισορροπία μεταξύ της συγκέντρωσης του αερίου και της δραστηριότητας στον ανιχνευτή επέρχεται άμεσα.

Συνδεσμολογία μετρητικής διάταξης

Για την οδήγηση του ρεύματος αέρα στο θάλαμο ιονισμού και την έξοδο του από το υδατίνο δείγμα χρησιμοποιείται η μετρητική διάταξη η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5 Σχέδιο μετρητικής διάταξης RTM-1688-2

Η μετρητική διάταξη περιλαμβάνει το μετρητή RTM-1688-2 με την ενσωματωμένη αντλία. Ο μετρητής από την υποδοχή out συνδέεται διαμέσου ενός σωλήνα PVC με μια ειδική φιάλη όγκου 500ml (πλυντρίδα / Bubbler), η οποία με τη σειρά της επικοινωνεί (επίσης διαμέσου σωλήνα PVC) με μια φιάλη ασφαλείας 250ml, η οποία τελικά συνδέεται με τη συσκευή από υποδοχή in.

Η αντλία διοχετεύει ρεύματα αέρα στη φιάλη (Bubbler) στην οποία βρίσκεται το υγρό προκαλώντας εξαγωγή του ραδονίου μέσω ανάδευσης. Στη συνέχεια η ροή αυτή του αέρα, αφού περάσει από τη φιάλη ασφαλείας για την υγραποίηση τυχόν υδρατμών οδηγείται στο RTM-1688-2.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Βάρος: 3,5 kg
- Διαστάσεις : 232 mm (μήκος), 182 mm (πλάτος), 135 mm (ύψος)
- Ηλεκτρική παροχή: 18V/1A
- Ανεξαρτησία λειτουργίας: >14 μέρες (ανά διαστήματα), >7 (συνεχής)
- Ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων: 511 αρχεία μετρήσεων
- Εύρος μέτρησης ραδονίου – θορίου: 1 Bq/m³ ... 10 MBq/m³
- Ευαισθησία: 3/7 μετρήσεις/ λεπτό @ 1000 Bq / m³ (Fast / Slow-Mode)
200 Bq / m³ με 10% στατιστικό σφάλμα, (1σ) σε διάστημα
δειγματοληψίας 1h
10 Bq / m³ με ένα 25% στατιστικό σφάλμα ,(1σ) σε διάστημα
δειγματοληψίας 4h
- Συνθήκες λειτουργίας: Θερμοκρασία -20 °C ... 40 °C
Υγρασία 0 ... 100 %
Πίεση 800 mbar ... 1200 mbar
- Παροχή αντλίας: 0.3 l/min

4.6.4 Η διαδικασία της μέτρησης

Η συσκευή, για τη μέτρηση των υδάτινων δειγμάτων, προγραμματίστηκε σε fast mode με χρόνο ολοκλήρωσης 15 min. Το δείγμα νερού τοποθετείται στην ειδική φιάλη (Bubble), με τρόπο τέτοιο ώστε να μη δημιουργούνται φυσαλίδες. Η φιάλη κλείνεται και το δείγμα παραμένει για να ψυχθεί στη θερμοκρασία της συσκευής, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι συμπυκνώσεις κατά τη μέτρηση που μπορεί να αλλοιώσουν το αποτέλεσμα. Έπειτα γίνονται οι συνδέσεις των φιαλιδίων με τη συσκευή από τα σωληνάκια PVC και θέτεται η συσκευή σε λειτουργία, έτσι ώστε ο αέρας να ανακυκλοφορεί συνεχώς σε κλειστό κύκλωμα μέσω της φιάλης. Μετά από 15 min έχει επιτευχθεί ισορροπία συγκέντρωσης ραδονίου στο νερό και τον αέρα και εξάγεται το αποτέλεσμα της μέτρησης.

5. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρεία εξέλιξη της τεχνικής των ηλεκτρονικών υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες και οι προβληματισμοί που σχετίζονται με την κατανόηση της χωρικής κατανομής των γεωλογικών σχηματισμών οδήγησαν στην ανάπτυξη της τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης (3D geological modeling).

Η τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση, ενώ αρχικά άρχισε να εφαρμόζεται κυρίως στο μεταλλευτικό κλάδο τη δεκαετία του 1960, αργότερα εμπλουτίστηκε με τη δημιουργία και εφαρμογή σχεδιαστικών μεθόδων με τη βοήθεια υπολογιστών (CAD - Computer Aided Design) (Μανούτσογλου κ.α., 2001). Κατ' αυτό τον τρόπο, εκτός από τη χρήση για την εξερεύνηση κοιτασμάτων, η τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση αποτέλεσε μια αξιόπιστη μέθοδο και για την αναπαράσταση των γενικότερων γεωλογικών δομών. Έτσι, η τρισδιάστατη απεικόνιση, που προκύπτει από τη μοντελοποίηση, βοήθησε στην πληρέστερη κατανόηση της γεωμετρίας, της χωρικής κατανομής και, γενικότερα, της πολυπλοκότητας των γεωλογικών αυτών δομών.

Η γεωλογική μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένων πακέτων λογισμικού (π.χ. Rockworks, Surpac Vision, lynx, Data Mine, Vulcan, GeoBlock, Gocad κ.α.).

Η διαδικασία κατασκευής του τελικού τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου περιλαμβάνει την δημιουργία δύο διαδοχικών μοντέλων: Του γεωμετρικού μοντέλου και του μοντέλου ιδιοτήτων. Το γεωμετρικό μοντέλο αποτελεί την τρισδιάστατη απεικόνιση της χωρικής κατανομής μιας γεωλογικής δομής. Τον τρόπο δηλαδή, με τον οποίο η δομή αυτή τοποθετείται στο χώρο και ποια είναι τα όρια της. Το μοντέλο ιδιοτήτων είναι αυτό που με βάση τα χωρικά όρια του γεωμετρικού μοντέλου, διακριτοποιεί το χώρο και προσδίδει συγκεκριμένες τιμές της υπό μοντελοποίησης ιδιότητας, (π.χ. περιεκτικότητα σε διάφορα οξείδια και στοιχεία, λιθολογία, κ.τ.λ.) σε κάθε διακριτό χώρο (κυψελίδα ή cell ή voxel), κατανέμοντας την πληροφορία στο χώρο.

5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Κατά τη γεωμετρική προσομοίωση μιας γεωλογικής δομής μεταβιβάζεται το γεωλογικό πρότυπο-ομοίωμα (geological model) σε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωμετρικό

ομοίωμα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτού του μοντέλου είναι η τοπογραφία, η γεωλογική χαρτογράφηση, γεωλογικές τομές, γεωφυσικά στοιχεία, στοιχεία γεωτρήσεων και τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα για την περιοχή (Παναγόπουλος, 2007).

Η τρισδιάστατη γεωλογική απεικόνιση σε σχέση με την κλασσική απεικόνιση παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα (Μανούτσογλου κ.α., 2001):

- Τα σφάλματα, είτε σχεδιαστικά, είτε προκύπτοντα από την εισαγωγή των δεδομένων γίνονται αντιληπτά άμεσα και κατά τη σχεδίαση του μοντέλου. Έτσι, το τελικό μοντέλο δημιουργείται ασφαλέστερα.
- Είναι εφικτή η εισαγωγή επιπλέον ή συμπληρωματικών δεδομένων σε οποιαδήποτε φάση του σχεδιασμού, με δυνατότητα επιλογής, της αντικατάστασης, ενημέρωσης ή συμπλήρωσης μέρους ή και όλων των αρχικά χρησιμοποιημένων δεδομένων.
- Τα σφάλματα ερμηνείας, σε σχέση με τον κλασσικό γεωλογικό χάρτη περιορίζονται αισθητά, επειδή στο ψηφιακό ομοίωμα μεταφέρονται και συνδυάζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια τόσο τα συλλεγόμενα πρωτογενή στοιχεία, τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και οι εμπειρίες και απόψεις του ερευνητή.
- Η δυνατότητα κατασκευής τομών, από το μοντέλο, δύο ή τριών διαστάσεων, τεμνόμενων ή και αλληπάλλληλων, προς οποιαδήποτε διεύθυνση, η δημιουργία τομών κατά μήκος μιας τεθλασμένης γραμμής μελέτης, η κατασκευή χαρτών ίσου πάχους σχηματισμών (ισοπαχείς χάρτες).
- Καλύτερη ανταπόκριση του μοντέλου στις ανάγκες της αγοράς.
- Εύκολη ενσωμάτωση ψηφιακών εικόνων και στοιχείων από τηλεσκοπικούς δορυφόρους, ψηφιακά φωτογραμμετρικά όργανα, μοντέρνα τοπογραφικά όργανα, και δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS).

5.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Για την ανάπτυξη ενός ψηφιακού μοντέλου, ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι ο διαχωρισμός της γεωλογικής δομής σε στοιχειώδης όγκους που ονομάζονται κυψελίδες (block). Οι διαστάσεις της κυψελίδας εξαρτώνται από τη μορφή της γεωλογικής δομής και μπορεί να είναι ομοιόμορφες ή με μεταβλητό μέγεθος. Η κυψελίδα ως προς την κατανομή των ιδιοτήτων θεωρείται ομογενής.

Από τον Γαλετάκη, 2007 τα μοντέλα διακρίνονται ανάλογα τη γεωμετρία της κυψελίδας σε:

- Τρισδιάστατα μοντέλα με κυψελίδα ίσου όγκου τετραγωνικής διατομής σταθερής σε όλη την έκταση της γεωλογικής δομής.
- Τρισδιάστατα μοντέλα με κυψελίδα διαφορετικών όγκων ορθογωνιακής διατομής.
- Τρισδιάστατα μοντέλα με μεταβαλλόμενο σχήμα κυψελίδας και διαφορετικό όγκο.

Για να αποδοθούν τιμές των παραμέτρων σε κάθε κυψελίδα, επιλέγονται διάφοροι τρόποι εκτίμησης αποθεμάτων. Ο υπολογισμός γίνεται με ειδικές μεθόδους παρεμβολής λαμβάνοντας υπ' όψιν τις τιμές της υπολογιζόμενης παραμέτρου των γειτονικών στην κυψελίδα στοιχείων των γεωτρήσεων, τις αποστάσεις τους και τις σχετικές τους θέσεις ως προς αυτήν. Τέτοιες μέθοδοι είναι αυτή των αντίστροφων αποστάσεων (ID) και η μέθοδος Kriging.

5.3.1 Η μέθοδος απόδοσης τιμών αντιστρόφων αποστάσεων

Η μέθοδος απόδοσης τιμών αντιστρόφων αποστάσεων μειώνει την επίδραση των δειγμάτων στην εκτιμώμενη τιμή, ανάλογα με τη θέση που έχουν σε σχέση με την κυψελίδα. Χρησιμοποιούνται τα κ πλησιέστερα δείγματα τα οποία βρίσκονται σε μια περιοχή ορισμένη από μία σφαίρα ακτίνας R. Ο συντελεστής στάθμισης για κάθε δείγμα που λαμβάνεται υπ' όψιν στον υπολογισμό, είναι το αντίστροφο της απόστασης του δείγματος από το κέντρο του μπλοκ υψωμένου σε μια δύναμη m. Η εμπειρική μέθοδος αυτή, αυξάνει το συντελεστή επιρροής στη διαμόρφωση του σταθμικού μέσου του στοιχειώδη όγκου όταν ένα δείγμα βρίσκεται κοντά σ' αυτό. Η πιο συνηθισμένη παραλλαγή αυτής της μεθόδου είναι η μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων στο τετράγωνο (IDS).

Από τον Γαλετάκη, 2007 ο υπολογισμός της περιεκτικότητας του gblock του κέντρου ενός μπλοκ χρησιμοποιώντας τα κ πλησιέστερα δείγματα, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$g_{block} = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} \left(\frac{1}{d_i}\right)^2 g_i}{\sum_{i=1}^{\kappa} \left(\frac{1}{d_i}\right)^2}$$

Όπου d_i η απόσταση του δείγματος i από το κέντρο του μπλοκ και g_i η περιεκτικότητα του δείγματος i .

Η μέθοδος απόδοσης τιμών των αντίστροφων αποστάσεων μειονεκτεί στο ότι δεν μπορεί να λάβει υπ' όψιν γνωστούς συσχετισμούς μεταξύ των περιεκτικοτήτων, ενώ στηρίζεται σε ένα αυθαίρετο μοντέλο για τη χωρική δομή του μπλοκ (Καπαγερίδης, 2006).

Η μέθοδος απόδοσης τιμών των αντίστροφων αποστάσεων χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την κατασκευή λιθολογικού μοντέλου, με τη ρύθμιση των αντίστοιχων παραμέτρων.

5.3.2 Kriging

Το Kriging είναι μια γεωστατιστική μέθοδος εκτίμησης τιμών των μπλοκς και αποτελεί τη βέλτιστη γραμμική μεσοσταθμική μέθοδο εκτίμησης (Γαλετάκης, 2007). Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία δεν έχει χρησιμοποιηθεί kriging για τη παρεμβολή, αλλά παρόλα αυτά αναφέρεται εξαιτίας της ευρείας χρήσης που βρίσκει.

Για την εφαρμογή του kriging προϋποτίθεται η ύπαρξη αρκετών στοιχείων, για τον υπολογισμό της συνάρτησης του βαριόγραμματος που περιγράφει τη μεταβολή του συσχετισμού των στοιχείων στο χώρο. Το βαριόγραμμα είναι διανυσματική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των δειγμάτων. Σε περίπτωση που μπορεί να υπολογίσει το τρισδιάστατο ελλειψοειδές βαριόγραμμάτων, η μέθοδος Kriging δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και επιτυγχάνεται αξιόπιστη αναπαράσταση της τρισδιάστατης δομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού σώματος (Γαλετάκης, 2007). Επίσης με τη μέθοδο αυτή μπορεί να εκτιμηθεί και η διακύμανση ενός μπλοκ, εξασφαλίζοντας έτσι μια ένδειξη για το κατά πόσο μια εκτιμώμενη μέση τιμή ενός μπλοκ είναι αξιόπιστη.

5.4 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, κρίθηκε σκόπιμο, να γίνει μια σύντομη αντιπροσωπευτική ανασκόπηση από την εκτενή διεθνή βιβλιογραφία, η οποία σχετίζεται με τον καθορισμό γεωλογικών παραμέτρων σχετιζόμενων με γεωθερμικά πεδία με τη χρήση τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης.

Η γενικότερη θεώρηση των εργασιών περιλαμβάνει τον καθορισμό του γεωμετρικού μοντέλου ως πρωταρχικό μοντέλο. Όλες οι μέθοδοι ανάγονται στη δημιουργία του

γεωμετρικού μοντέλου, δίνοντας έπειτα διαφορετικές τιμές κάθε φορά στο μοντέλο ιδιοτήτων, κατανέμοντας την πληροφορία στο χώρο.

Τιμές που αποδίδονται στο μοντέλο ιδιοτήτων συνήθως είναι οι τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων (Santos et al., 1997; Spichak et al., 2009) ή τιμές πυκνοτήτων (Cella et al., 2007; Represas et al., 2013). Ενώ, ορισμένες εργασίες (Bartucz, 2009; Faulds et al., 2010; Calcagno et al., 2012) επικεντρώνονται μόνο στη δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου, έχοντας ως στόχο τη χωρικής κατανομής των γεωλογικών δομών. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι δομές τοποθετούνται στο χώρο, ενώ καθορίζονται σαφώς τα όρια τους (στρωματογραφικά, τεκτονικά).

Σε έναν αριθμό εργασιών (Kohl et al., 2003; Wan et al., 2005; Raymond et al., 2008; Aksoy et al., 2008; Zimmermann et al., 2010; Jirakova et al., 2011) στο γεωμετρικό μοντέλο αποδίδονται ιδιότητες με τη δημιουργία αριθμητικών μοντέλων (numerical models). Οι ροή των γεωθερμικών ρευστών και οι κατανομή της θερμοκρασίας των ρευστών μοντελοποιούνται με τη κατασκευή τέτοιων δυναμικών μοντέλων.

Στις εργασίες των Bartucz, 2009, Faulds et al., 2010 και Calcagno et al., 2012, κατασκευάστηκε ένα γεωμετρικό μοντέλο, όπου τα ρήγματα που δραστηριοποιούνται εντός των γεωθερμικών πεδίων τοποθετούνται στο χώρο με στόχο την πληρέστερη κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας του γεωθερμικού πεδίου (Faulds et al., 2010), την εξαγωγή των κύριων διευθύνσεων των ρηξηγενών ζωνών (Calcagno et al., 2012), τον εντοπισμό των βέλτιστων σημείων αξιοποίησης του γεωθερμικού δυναμικού (Bartucz, 2009). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των μοντέλων προήλθαν κατά κύριο λόγο από γεωφυσικές έρευνες και συγκεκριμένα σεισμικές διασκοπήσεις.

Στις εργασίες των Santos et al., 1997; Spichak et al., 2009 αποδόθηκαν τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων στο μοντέλο ιδιοτήτων. Οι Santos et al., 1997, δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο μοντέλο ηλεκτρικών αντιστάσεων με τη χρήση δεδομένων που προέκυψαν από γεωφυσικές μεθόδους. Στόχος της μελέτης αυτής ήταν η ανίχνευση αγωγίμων ζωνών οι οποίες συνδέονται με την υδροθερμική κυκλοφορία, καθώς και η πληρέστερη κατανόηση την χωρικής διαμόρφωσης των ζωνών που παρουσιάζουν χαμηλές τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Οι Spichak et al., 2009 κατασκεύασαν τρισδιάστατο μοντέλο με στρωματογραφικά και τεκτονικά όρια από δεδομένα τα οποία προέκυψαν από ηλεκτρομαγνητικές διασκοπήσεις, στο οποίο απέδωσαν ιδιότητες με τις τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων. Η συνδυαστική χρήση της μεθόδου των ηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων και του τρισδιάστατου μοντέλου ηλεκτρικών αντιστάσεων στο γεωθερμικό πεδίο, απέδωσε ένα πλήθος αποτελεσμάτων. Έγινε κατανοητή η στρωματογραφική διάρθρωση της περιοχής, η εικόνα του ταμιευτήρα και των γύρω δομών. Κατέστη δυνατός ο εντοπισμός των ρηγμάτων που δραστηριοποιούνται στην περιοχή και ο προσανατολισμός τους, καθώς και το όριο μεταξύ του ταμιευτήρα και του στεγανού καλύμματος. Έγινε εκτίμηση της διαπερατότητας των σχηματισμών και της θερμοκρασίας του ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό, η συνδυαστική χρήση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και των γεωφυσικών μεθόδων είχε ως συνέπεια τη μείωση του κόστους εξερεύνησης του γεωθερμικού πεδίου.

Σε εργασίες των Cella et al., 2007 και Represas et al., 2013 αποδόθηκαν στο αρχικό γεωμετρικό μοντέλο τιμές πυκνοτήτων προκύπτοντας τρισδιάστατα μοντέλα πυκνότητας. Οι Cella et al., 2007 με τη χρήση δεδομένων από γεωτρήσεις της περιοχής αλλά και από τα αποτελέσματα σεισμικών και βαρυτικών διασκοπήσεων κατασκεύασαν τρισδιάστατο μοντέλο πυκνοτήτων και χάρτη ισοβαθών. Με βάση το μοντέλο αλλά και το χάρτη που κατασκευάστηκε από αυτό, προέκυψε ένας αριθμός πιθανών ρηγμάτων που δρουν στην περιοχή. Επίσης, εξήχθησαν συμπεράσματα που αφορούν το βάθος στο οποίο συναντάται το υπόβαθρο αλλά και της γενικότερης μορφολογίας του ηφαιστειακού κώνου. Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη δημιουργία του μοντέλου ενίσχυσαν τα γεωλογικά δεδομένα για τη περιοχή.

Στην εργασία των Represas et al., 2013, δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλο πυκνότητας, με τη χρήση βαρυτικών δεδομένων από διασκοπήσεις. Από το τρισδιάστατο αυτό μοντέλο και από τους βαρυτικούς χάρτες προέκυψε ένα πολύπλοκο σύστημα ρηγμάτων, πολλαπλών διευθύνσεων καθώς και το βάθος της γρανιτικής διείσδυσης.

Οι Kohl et al., 2003 στην εργασία τους, δημιούργησαν μοντέλο το οποίο προσομοιώνει τη ροή των γεωθερμικών ρευστών από δεδομένα γεωτρήσεων εντός του γεωθερμικού πεδίου. Το μοντέλο αυτό ενσωματώνει επιπλέον και τα προηγούμενα γεωλογικά, υδρογεωλογικά και βραχομηχανικά δεδομένα. Με το λεπτομερές αυτό μοντέλο που κατασκευάστηκε, καθορίστηκαν οι περιφερειακές και τοπικές οριακές συνθήκες και οι τρόποι μεταφοράς του δυναμικού από μεγάλα βάθη σε συνδυασμό με πιθανά σενάρια χρήσης του.

Τρισδιάστατο δυναμικό μοντέλο ροής των ρευστών κατασκεύασαν και οι Raymond et al., 2008 στην εργασία τους. Το μοντέλο το οποίο προσομοιώνει τη ροή των γεωθερμικών ρευστών διαμέσου πρώην εξορυκτικών έργων και της βραχόμαζας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μοντελοποίηση χρησίμευσαν στο σχεδιασμό μιας μακροπρόθεσμης άντλησης του γεωθερμικού δυναμικού με στόχο την ανάκτηση θερμότητας.

Στην εργασία των Aksoy et al., 2008 κατασκευάστηκε τρισδιάστατο μοντέλο κατανομής θερμοκρασίας των ρευστών του γεωθερμικού πεδίου με βάση μετρήσεις θερμοκρασίας σε γεωτρήσεις εντός του πεδίου. Η κατανομή της θερμοκρασίας έτσι όπως προέκυψε από το μοντέλο είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων που είχαν πραγματοποιηθεί προηγούμενα στην περιοχή.

Οι Jirakova et al., 2011 κατασκεύασαν επίσης τρισδιάστατο μοντέλο κατανομής της θερμοκρασίας των γεωθερμικών ρευστών, το οποίο προέκυψε με τη χρήση δεδομένων από θερμοκρασιακές μετρήσεις σε μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων στο γεωθερμικό πεδίο. Στη δημιουργία του μοντέλου συμπεριλήφθηκε και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) και είχε ως στόχο την πλήρη κατανόηση της γεωθερμικής βαθμίδας της περιοχής.

Στην εργασία των Zimmermann et al., 2010 δημιουργήθηκε με δεδομένα από σεισμικές διασκοπήσεις και από γεωτρήσεις το τρισδιάστατο μοντέλο με σκοπό αρχικά, τον εντοπισμό του βάθους που συναντώνται οι σχηματισμοί που δομούν το πεδίο. Το μοντέλο σχεδιάστηκε αναπαριστώντας τις συνθήκες παραγωγής του γεωθερμικού δυναμικού έτσι ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η γεωμηχανική συμπεριφορά του ταμιευτήρα και να ποσοτικοποιηθεί η σταθερότητα των τοιχωμάτων των παραγωγικών γεωτρήσεων στο τρέχον πεδίο τάσεων.

Οι Wan et al., 2005 στην εργασία τους, σε ένα σύστημα θερμών ξηρών πετρωμάτων, κατασκεύασαν – σε αντίθεση με τα παραπάνω – με βάση το γεωμετρικό μοντέλο, ένα στατικό τρισδιάστατο μοντέλο κατανομής της θερμοκρασίας των γεωλογικών σχηματισμών. Στόχος ήταν να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής βαθμίδας της περιοχής μελέτης. Το μοντέλο αυτό προσδιορίστηκε ως στατικό και όχι ως δυναμικό για τους εξής λόγους: α. η μεταφορά θερμότητας στο φλοιό θεωρείται αργή σε σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και παρεμβολές, β. λήφθηκε υπόψη μόνο η μεταφορά θερμότητας με αγωγή, καθώς η συναγωγή λαμβάνει χώρα στη μεταφορά θερμότητας στα υπόγεια ύδατα τα οποία δε συμπεριλήφθησαν στην παρούσα εργασία (σύστημα θερμών

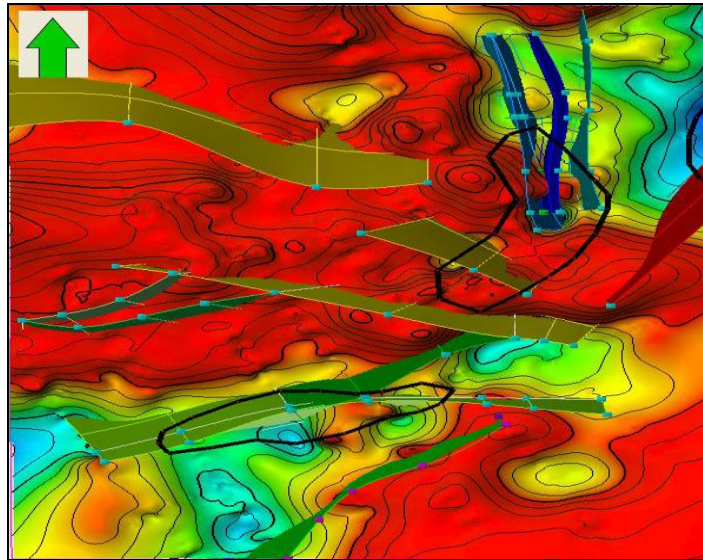
ξηρών πετρωμάτων). Η μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία δεν έχει επίσης συμπεριληφθεί, γ. σε σύγκριση με τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή, από το μαγματικό όγκο, η ραδιενέργεια της βραχώμαζας είναι συνήθως αμελητέα. Επομένως δεν υπολογίζεται κατά τη μελέτη της κατανομής της θερμοκρασίας των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν το γεωθερμικό πεδίο.

5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στην εργασία του Bartucz, 2009 μελετήθηκε μια περιοχή της Ουγγαρίας με σκοπό να εντοπιστούν τα πιο πιθανά σημεία γεωθερμικού δυναμικού με σκοπό την εξαγωγή των ρευστών για τη χρήση σε ηλεκτροπαραγωγή ή για άμεση θερμική χρήση. Για τον εντοπισμό των πιο πιθανών σημείων με πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό, δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γεωλογικό μοντέλο της περιοχής μελέτης. Για τη δημιουργία του μοντέλου αυτού, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα προερχόμενα από σεισμικές διασκοπήσεις. Ενώ, για την επεξεργασία των δεδομένων επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Petrel της εταιρίας Schlumberger Co.

Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν πιθανά σημεία (εικόνα 2.1) για την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού γεωθερμικού δυναμικού. Το κριτήριο επιλογής των σημείων αυτών είναι οι περιοχές όπου διασταυρώνονται παλιές βαθιές με νεαρές ρηχές ζώνες διάρρηξης σχηματίζοντας ένα εφελκυστικό πεδίο τάσεων.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ της ερμηνείας του ψηφιακού μοντέλου και των σεισμικών διασκοπήσεων, η οποία φανέρωσε πως η ψηφιακή ανάλυση των δεδομένων οδηγεί στο να αναγνωριστούν ακόμη πιο λεπτομερείς τεκτονικές δομές σε μικρό σχετικά διάστημα.



Εικόνα 5.1 Κάτοψη του ψηφιακού μοντέλου, όπου διακρίνονται ρήγματα διαφορετικής ηλικίας, τύπου, διεύθυνσης κ.τ.λ. Στα σημεία διασταυρώσεων (περικλείονται με μαύρες γραμμές) τοποθετούνται οι τρεις πιο πιθανές περιοχές για αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας (Bartucz, 2009).

Ένα άλλο παράδειγμα βρίσκεται στην εργασία των Faulds et al., 2010 πραγματοποιήθηκε έρευνα με σκοπό τη αποσαφήνιση των διευθύνσεων ροής των γεωθερμικών ρευστών, σε γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας στην περιοχή Reno της Nevada, USA. Για το σκοπό αυτό διεξήχθη μια λεπτομερής τεκτονική αξιολόγηση σε συνδυασμό με κατασκευή τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης.

Η τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση έγινε για να γίνει πληρέστερη η κατανόηση του πολύπλοκτου συστήματος ρηγμάτων που δρουν στην περιοχή και επιδρούν στη ροή των ρευστών, έτσι ώστε να γίνει βέλτιστη αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση, τεκτονική ανάλυση και γεωφυσικές έρευνες τα αποτελέσματα των οποίων σε συνδυασμό με γεωτρήσεις της περιοχής αποτέλεσαν τα δεδομένα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου.

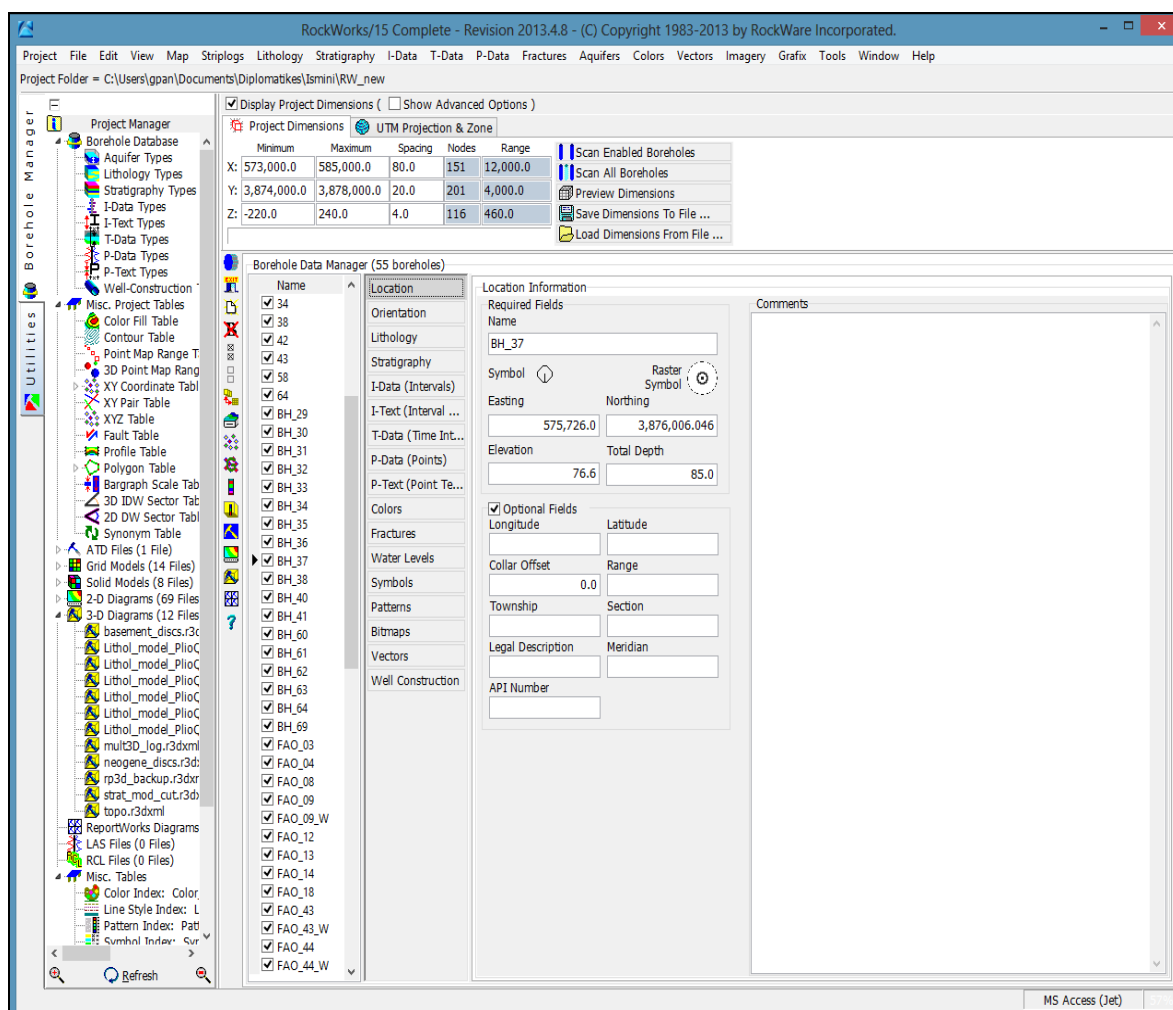
Από το μοντέλο αυτό εξήχθησαν οι γεωμετρίες των ρηγμάτων που δεν έχουν επιφανειακά ίχνη, οι τάσεις που καθορίζουν τις ευνοϊκές διόδους των ρευστών κοντά στην επιφάνεια και σε βάθος. Έτσι το μοντέλο θα αποτελέσει τη βάση για το μελλοντικό καθορισμό των ευνοϊκών γεωθερμικά περιοχών και των διόδων των ρευστών.

5.6 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS

Για την κατασκευή των τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων, χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία το λογισμικό Rockworks 15. Το Rockworks 15 αποτελεί την τελευταία έκδοση και πιο ενημερωμένη έκδοση της εταιρίας Rockware Incorporated. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που κρίνεται σκόπιμη η διαχείριση και οπτικοποίηση δεδομένων επιφανείας και υπεδάφους. Ως παράδειγμα αποτελεσμάτων της τρισδιάστατης μοντελοποίησης μπορεί να είναι χάρτες κατανομής μιας παραμέτρου, τομές προς οποιαδήποτε διεύθυνση σε δύο ή τρεις διαστάσεις, η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, ογκομετρήσεις και άλλα. Προσφέρει πολλές επιλογές για την ανάλυση των χωρικών δεδομένων καθώς δέχεται διαφορετικούς τύπους δεδομένων όπως στρωματογραφικά, λιθολογικά, γεωχημικά δεδομένα, στοιχεία υδρολογίας κ.ά.

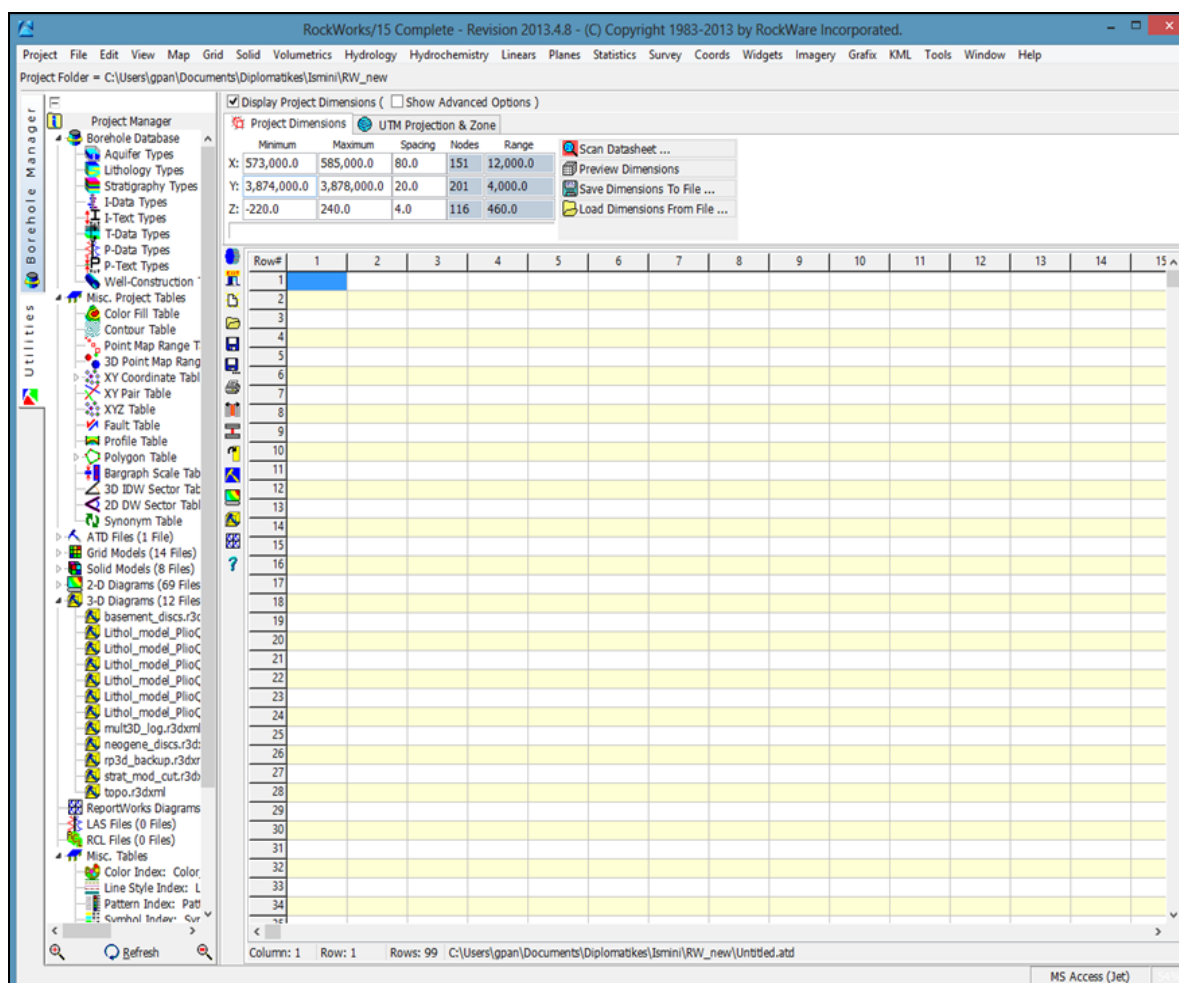
Τα κυριότερα περιβάλλοντα εργασίας του λογισμικού είναι οι σελίδες Borehole data manager και Rock Ware Utilities.

Στη σελίδα Borehole data manager (εικόνα 5.2) είναι δυνατή η εισαγωγή δεδομένων από γεωφυσικές, γεωτεχνικές και γεωχημικές μετρήσεις σε γεωτρήσεις, από λιθολογικές περιγραφές πυρήνων, πιεζομετρικές επιφάνειες και διακλάσεις. Με τα δεδομένα αυτά κατασκευάζονται τρισδιάστατα μοντέλα, λιθολογικοί και στρωματογραφικοί χάρτες ίσων παχών και υψών, απεικονίσεις χωροθέτησης γεωτρήσεων σε δύο ή τρεις διαστάσεις καθώς τομές προς οποιαδήποτε διεύθυνση.



Εικόνα 5.2 Περιβάλλον εργασίας της σελίδας Borehole data manager

Η σελίδα Rock Ware Utilities (εικόνα 5.3) αποτελεί ένα φύλλο εισαγωγής δεδομένων παρόμοιο με τα φύλλα του MS Excel. Με την εισαγωγή δεδομένων υψομέτρου είναι δυνατή η κατασκευή χαρτών ισοϋψών και τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφανείας. Επιπρόσθετα, περιέχει εργαλεία δημιουργίας στερεών μοντέλων, στατιστικής επεξεργασίας, δισδιάστατης και τρισδιάστατης ανάλυσης διαρρήξεων, καθώς και υδρολογικών και υδρογεωλογικών διαγραμμάτων.



Εικόνα 5.3 Περιβάλλον εργασίας της σελίδας Borehole Utilities

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο κύριες σελίδες του λογισμικού. Συγκεκριμένα στη σελίδα Borehole data manager εισήχθησαν δεδομένα λιθολογίας από πυρήνες γεωτρήσεων που διεξήχθησαν στην περιοχή Πόμπιας με σκοπό τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού μοντέλου. Τα μοντέλα αυτά σε συνδυασμό με το τρισδιάστατο ψηφιακό ανάγλυφο της τοπογραφίας και του χάρτη ισοϋψών της περιοχής που κατασκευάστηκαν στη σελίδα Rock Ware Utilities από τα τοπογραφικά στοιχεία, χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή χαρτών ίσου πάχους και βάθους με σκοπό τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στο υπό μελέτη γεωθερμικό πεδίο της περιοχής Πόμπιας.

6. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η δημιουργία χωρικής προσομοίωσης των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης με σκοπό τον προκαταρκτικό προσδιορισμό των γεωλογικών συνθηκών του γεωθερμικού πεδίου και η μέτρηση συγκεντρώσεων του εκλυόμενου ραδονίου σε δείγματα νερού από γεωτρήσεις της περιοχής, με σκοπό τον εντοπισμό ρηξιγενών ζωνών οι οποίες δεν εμφανίζονται επιφανειακά, αποτελούν τις κύριες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη διερεύνηση του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας της περιοχής Πόμπιας.

Οι εργασίες που αφορούν την τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση περιλάμβαναν:

- Συγκέντρωση, ψηφιοποίηση, τροποποίηση και κατηγοριοποίηση των δεδομένων
- Κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας
- Δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου
- Γεωστατιστικός έλεγχος της αξιοπιστίας του κατασκευασθέντος στρωματογραφικού μοντέλου με τη δημιουργία ιστογράμματος κατανομής συχνότητας των αποκλίσεων των εκτιμώμενων τιμών από τις πραγματικές και διαγράμματος των εκτιμώμενων τιμών προς τις πραγματικές.
- Κατασκευή ισοβαθών χαρτών των επιφανειών που ορίζονται μεταξύ υποβάθρου / Νεογενούς και Νεογενούς / Πλειο-τεταρτογενούς.
- Εξαγωγή και απεικόνιση ρηγμάτων τα οποία δεν εμφανίζονται επιφανειακά, στους χάρτες ίσου βάθους (σε δύο διαστάσεις), αλλά και στη θέση τους στο χώρο.
- Ροδογράμματα με τις διευθύνσεις των εξαγόμενων ρηγμάτων του Νεογενούς και του υποβάθρου.
- Κατασκευή ισοπαχών χαρτών, οι οποίοι περιλαμβάνουν χάρτες ισοπαχών του συνόλου των Πλειο – Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων
- Δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου

- Κατασκευή ισοπαχών χαρτών, οι οποίοι περιλαμβάνουν χάρτες ισοπαχών των αδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων αποθέσεων της στρωματογραφικής ενότητας του Πλειο – Τεταρτογενούς.

Οι εργασίες που αφορούν τη μέτρηση της συγκέντρωσης του ραδονίου περιλάμβαναν:

- Τη βαθμονόμηση της μετρητικής διάταξης “RTM-1688-2” της εταιρίας SARAD GmbH, που χρησιμοποιήθηκε σύμφωνα με την αντίστοιχη μετρητική διάταξη του ΙΓΜΕ.
- Μετρήσεις υπαίθρου σε τρία (3) υδάτινα δείγματα, προερχόμενα από γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης.
- Εξαγωγή των τιμών που μετρήθηκαν από τη μετρητική διάταξη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (Radon in Water Calculation).
- Αξιολόγηση των μετρηθέντων τιμών.

6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η ολοκλήρωση της χωρικής προσομοίωσης των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις. Η πρώτη αφορούσε τη συλλογή όλων των διαθέσιμων χωρικών δεδομένων, όπως γεωτρήσεων, ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων, όρια γεωλογικών σχηματισμών, ρηγμάτων και υψομετρικών στοιχείων. Τα αρχικά στοιχεία των περισσότερων από τις γεωτρήσεις και τις βυθοσκοπήσεις ήταν υπό τη μορφή ψηφιακών φωτογραφιών και σκαριφημάτων. Η επόμενη φάση, περιλάμβανε την ηλεκτρονική μορφοποίηση των ανωτέρω στοιχείων με τέτοιο τρόπο που να είναι εφικτή η εισαγωγή και επεξεργασία τους στο λογισμικό Rockworks 15. Κατά την τελευταία φάση έγινε συνδυαστική χρήση του συνόλου των δεδομένων για τη χωρική επεξεργασία και την κατασκευή τρισδιάστατων απεικονίσεων.

6.1.1 Συγκέντρωση και τροποποίηση δεδομένων

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της χωρικής προσομοίωσης των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων που συναντώνται στην περιοχή της Πόμπιας, προήλθαν από γεωτρήσεις και βυθοσκοπήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος του οργανισμού Τροφών και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) το οποίο πραγματοποιήθηκε στο τέλος του 1969 και το 1972 για να διενεργηθεί «μελέτη των υδάτινων πόρων και την εκμετάλλευσή τους με σκοπό την άρδευση στην Ανατολική Κρήτη», καθώς και από το γεωλογικό φύλλο Τυμπάκι του ΙΓΜΕ.

Οι πληροφορίες που εξήχθησαν τόσο από τα φύλλα γεωτρήσεων όσο και από τα σκαριφήματα, αφορούσαν τις συντεταγμένες των γεωτρήσεων και των βυθοσκοπήσεων, το ολικό τους βάθος και το υψόμετρο τους, τις λιθολογίες στα διάφορα βάθη. Τα δεδομένα ήταν σε έντυπη μορφή οπότε η ψηφιοποίηση τους αποτελούσε αρχική προϋπόθεση για την εισαγωγή τους στη βάση δεδομένων.

Οι πληροφορίες που σχετίζονται με τις συντεταγμένες απαιτήσαν περαιτέρω επεξεργασία καθώς μετατράπηκαν από το αναγραφόμενο στα φύλλα γεωτρήσεων σύστημα συντεταγμένων σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων (ΕΓΣΑ'87) στα πλαίσια των απαιτήσεων του λογισμικού για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση.

Τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών που ψηφιοποιήθηκαν από το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, χρησίμευσαν ως χωρικά όρια περιορισμού της έκτασης συγκεκριμένων στρωματογραφικών ενοτήτων, όπως θα παρουσιαστεί λεπτομερώς παρακάτω.

Επίσης από τα δεδομένα των ισούψων της περιοχής καταγράφηκαν οι απαιτούμενες πληροφορίες της τοπογραφίας με σκοπό τη δημιουργία κατάλληλου αρχείου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DEM).

Σκοπός ήταν να γίνει εισαγωγή όλων των παραπάνω πληροφοριών, στο λογισμικό Rockworks 15 για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων.

Στην εικόνα 6.1 παρουσιάζεται η κατανομή των γεωτρήσεων και των βυθοσκοπήσεων εντός της περιμέτρου της περιοχής έρευνας. Το περίγραμμα της χωρικής κατανομής κατασκευάστηκε με την εντολή Map / Borehole Locations της κεντρικής γραμμής εντολών του περιβάλλοντος Borehole Manager (βλ. παράγραφο Π.4.1).

Συνολικά, επεξεργάστηκαν δεδομένα από 44 γεωτρήσεις και 11 βυθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Τα λιθολογικά δεδομένα των γεωτρήσεων ομαδοποιήθηκαν, προκύπτοντας 25 λιθολογίες. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί που διακρίθηκαν είναι:

Clay / άργιλος – silty clay / ιλυώδης άργιλος - sandy clay / αμμώδης άργιλος - gravelly clay / χαλικώδης άργιλος – silt / ιλύς - clayey silt / αργιλώδης ιλύς – gravelly silt / χαλικώδης ιλύς – sand / άμμος – clayey sand / αργιλώδης άμμος – silty sand / ιλυώδης άμμος – gravelly sand / χαλικώδης άμμος – gravels / χαλίκια – clayey gravels / αργιλώδη χαλίκια – silty gravels / ιλυώδη χαλίκια – sandy gravels / αμμώδη χαλίκια – marl / μάργα – clayey marl / αργιλώδη μάργα – sandy marl / αμμώδη μάργα – gravelly marl / χαλικώδη μάργα – marly limestone / μαργώδης ασβεστόλιθος – conglomerate / κροκαλοπαγές – limestone / ασβεστόλιθος – schist / σχιστόλιθος – flysch / φλύσχης.

Στις βυθοσκοπήσεις που επεξεργάστηκαν, αποδόθηκαν στις τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων, οι αντίστοιχες λιθολογίες έτσι ώστε να εμπλουτιστεί η βάση δεδομένων για τη κατασκευή των λιθοστρωματογραφικών μοντέλων. Η αντιστοίχιση των τιμών έγιναν σύμφωνα με τον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1 Τιμές ηλεκτρικής αντίστασης και οι αντίστοιχες λιθολογίες

Εύρος τιμών ηλεκτρικής αντίστασης	Λιθολογία
5 έως 14	clay / άργιλος
14 έως 20	silt / ιλύς
20 έως 40	marl / μάργα
40 έως 80	sand / άμμος
80 έως 140	gravels / χαλίκια

Επιπλέον, η χρησιμοποίηση των στοιχείων των γεωτρήσεων περιελάμβανε και την κατάταξή τους σε μια εκ των στρωματογραφικών ενοτήτων που δομούν την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Οι ενότητες που απαντώνται στην περιοχή μελέτης είναι, από τον παλαιότερο στον νεότερο, αλπικό υπόβαθρο (αδιαίρετο), Νεογενείς αποθέσεις και Πλειο-Τεταρτογενείς αποθέσεις / basement – Neogene – Plio-Quaternary.

Λιθολογίες		Στρωματογραφικές Ενότητες	
clay		Plio-Quaternary	
clayey gravels		Neogene	
clayey marl		basement	
clayey sand			
clayey silt			
conglomerate			
flysch			
gravelly clay			
gravelly marl			
gravelly sand			
gravelly silt			
gravels			
limestone			
marl			
marly limestone			
sand			
sandstone			
sandy clay			
sandy gravels			
sandy marl			
schist			
silt			
silty clay			
silty gravels			
silty sand			

Εικόνα 6.2 Κατηγοριοποίηση των λιθολογικών και στρωματογραφικών περιγραφών όπως προέκυψαν από τις περιγραφές των γεωτρητικών στηλών. Το ποσοστό πλήρωσης του μοτίβου των λιθολογιών, όπως εμφανίζεται στη δεύτερη στήλη, εκφράζει κοκκομετρική διαβάθμιση.

Ο ορισμός των Άνω Πλειοκαινικών και Τεταρτογενών αποθέσεων ως μιας ενιαίας στρωματογραφικής ενότητας έγινε γιατί ο διαχωρισμός τους με βάση τις τομές των γεωτρήσεων είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Τόσο οι πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις όσο και οι Πλειστοκαινικές που εντοπίζονται στην περιοχή, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια με συχνές εναλλαγές τόσο οριζόντια όσο και κάθετα, αργιλούχων, ιλυωδών, αμμωδών, χαλικωδών – κροκαλοπαγών στρωμάτων. Κατά τον Κριτσιωτάκη 2009, θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω απουσίας απολιθωμάτων έχει αποδειχτεί εξαιρετικά δύσκολη έως αδύνατη η στρωματογραφική διάκριση (όριο) των επί μέρους αλλουβιακών και πλειστοκαινικών σχηματισμών στους πυρήνες των γεωτρήσεων. Δεδομένης της δυσκολίας αυτής υπάρχει σημαντική σύγχυση στο στρωματογραφικό χαρακτηρισμό των εμφανίσεων των αποθέσεων αυτών με αποτέλεσμα τη δυσκολία καταγραφής του ορίου μετάβασης από τους αλλουβιακούς στους πλειστοκαινικούς σχηματισμούς και κατά επέκταση του

υπολογισμού του πάχους τους. Μικρότερη γενικά δυσκολία εμφανίζει η στρωματογραφική διάκριση μεταξύ των πλειστοκαινικών και νεογενών σχηματισμών.

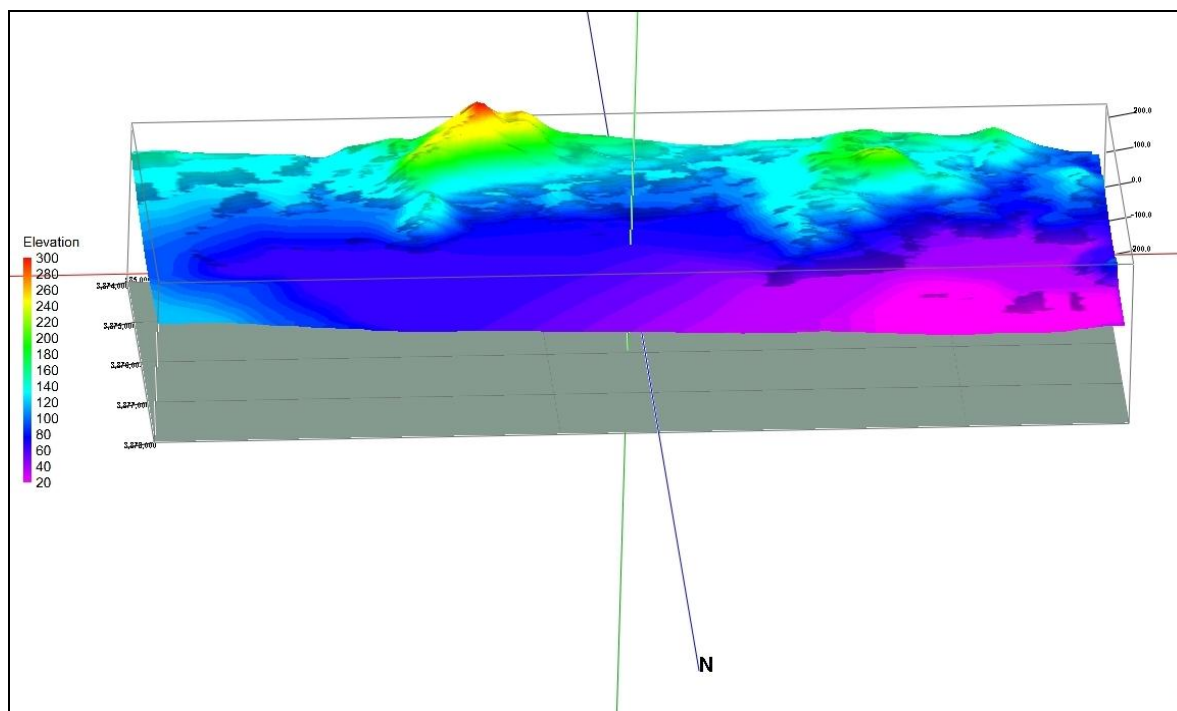
Σε μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων, σε ορισμένο βάθος, συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις με αξιοσημείωτο πάχος, ενώ ταυτόχρονα σε γειτονικές γεωτρήσεις στα ίδια βάθη συναντώνται εντελώς διαφορετικές λιθολογίες. Έτσι, γίνεται εμφανής η πολυπλοκότητα των αποθέσεων αυτών και το πόσο δύσκολο είναι να μοντελοποιηθούν. Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία οι παραπάνω σχηματισμοί θεωρήθηκαν ως μία ενότητα (Πλειο-Τεταρτογενής σχηματισμοί).

Για τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων χρησιμοποιήθηκε κάναβος (grid) τριών διαστάσεων μήκους στον άξονα του $X = 12000\text{m}$, στον άξονα του $Y = 4000\text{m}$ και στον άξονα του $Z = 460\text{m}$. Το μεσοδιάστημα ήταν 80m , 20m και 4m , αντιστοίχως. Στη συνέχεια, η ανώτερη επιφάνεια του μοντέλου περιορίστηκε με βάση το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής (βλ. παράγραφο Π.5.1, Utilities και εντολή Map / Grid- Based Map) και περιφερειακά από τα όρια των σχηματισμών του υποβάθρου με τη χρήση του πολυγωνικού φίλτρου (polygon filter) της περιμέτρου της περιοχής έρευνας, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη μοντελοποίηση μέσα στην ευρύτερη περιοχή της Πόμπιας και κάτω από την τοπογραφική επιφάνεια. Σύμφωνα με αυτές τις ρυθμίσεις πραγματοποιήθηκε η λιθοστρωματογραφική μοντελοποίηση.

6.1.2 Λιθοστρωματογραφική επισκόπηση

- 6.1.2.1 Κατασκευή τρισδιάστατου λιθοστρωματογραφικού μοντέλου

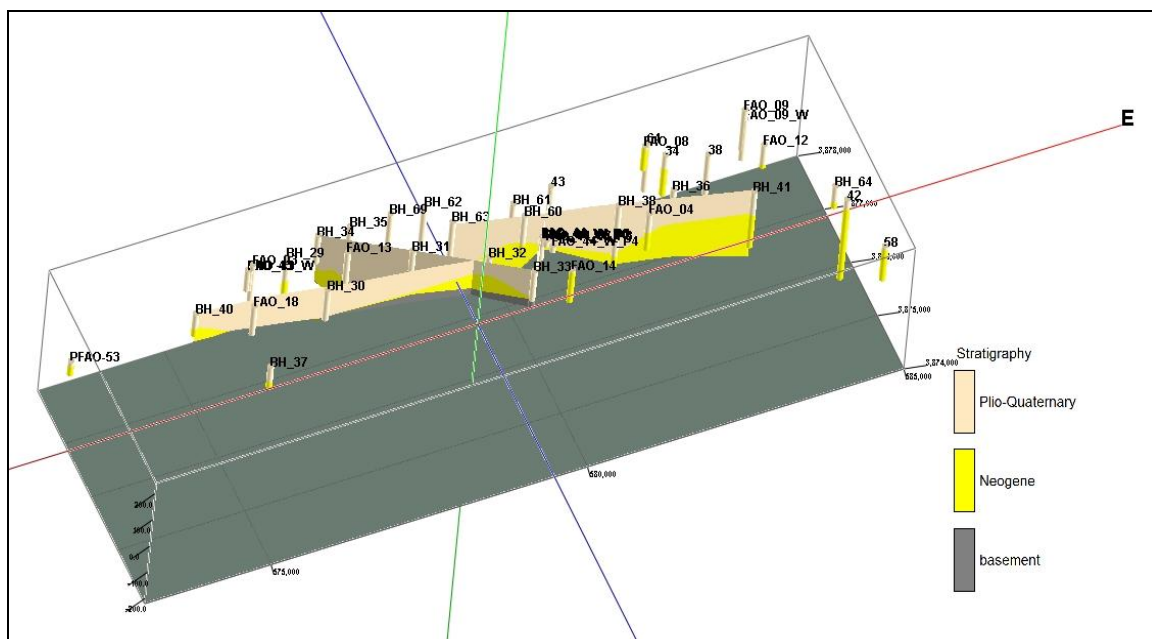
Με βάση τα δεδομένα των ισοϋψών της περιοχής από τα οποία εξήχθησαν οι απαιτούμενες πληροφορίες της τοπογραφίας κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (Εντολή Map / Grid – Based Map). Το μοντέλο επιφανείας χρησιμοποιήθηκε ως το ανώτατο όριο των λιθοστρωματογραφικών μοντέλων που κατασκευάστηκαν στη συνέχεια. Η κατασκευή του έγινε με τη χρήση του αλγορίθμου triangulation όπως ακριβώς και το στρωματογραφικό μοντέλο (βλ. παράγραφο Π.5.1).



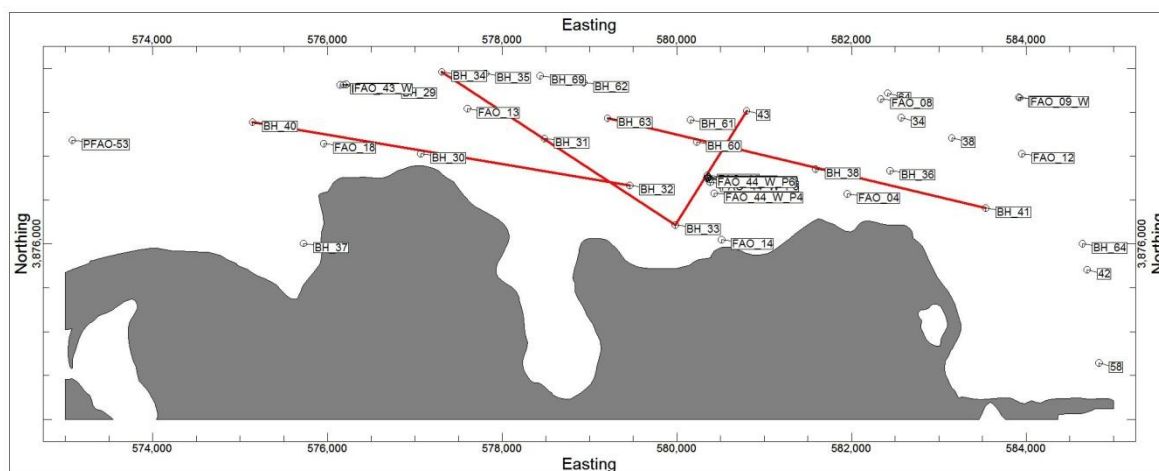
Εικόνα 6.3 Τρισδιάστατο πλεγματικό μοντέλο της επιφάνειας της περιοχής μελέτης με τοπογραφικό ανάγλυφο και με κατακόρυφη υπερύψωση x5 (vertical exaggeration).

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των γεωτρήσεων δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο, με σκοπό τον καθορισμό της χωρικής κατανομής των γεωλογικών σχηματισμών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η χωροθέτηση των επιφανειών (ανώτερων και κατώτερων) της κάθε γεωλογικής ενότητας. Οι επιφάνειες ορίστηκαν με παρεμβολή του υψομέτρου της λιθοστρωματογραφικής επαφής που παρατηρήθηκε σε κάθε γεώτρηση, με την υπόλοιπη περιοχή μεταξύ γεωτρήσεων. Κατά αυτό τον τρόπο οι γεωτρήσεις θεωρούνται σημεία αναφοράς.

Στην παρούσα εργασία για την κατασκευή του τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου (εντολή Stratigraphy / Model) επιλέχθηκε ως βέλτιστη μέθοδος παρεμβολής δεδομένων η μαθηματική μέθοδος της τριγωνοποίησης (βλ. παράγραφο Π.4.3). Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε γιατί προσαρμόζεται καλύτερα στα εισαγμένα σημειακά δεδομένα των κατώτατων ορίων των γεωτρήσεων με αποτέλεσμα να αποδίδει περισσότερο ρεαλιστικά τη χωροθέτηση των επιμέρους επιφανειών των αποθέσεων. Στις εικόνες που ακολουθούν 6.4 και 6.5 δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη δημιουργία του τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου και με τις συμπεριλαμβανόμενες γεωτρήσεις, ενώ στο σχήμα 6.6 απεικονίζονται πολλαπλές τομές στο χώρο.

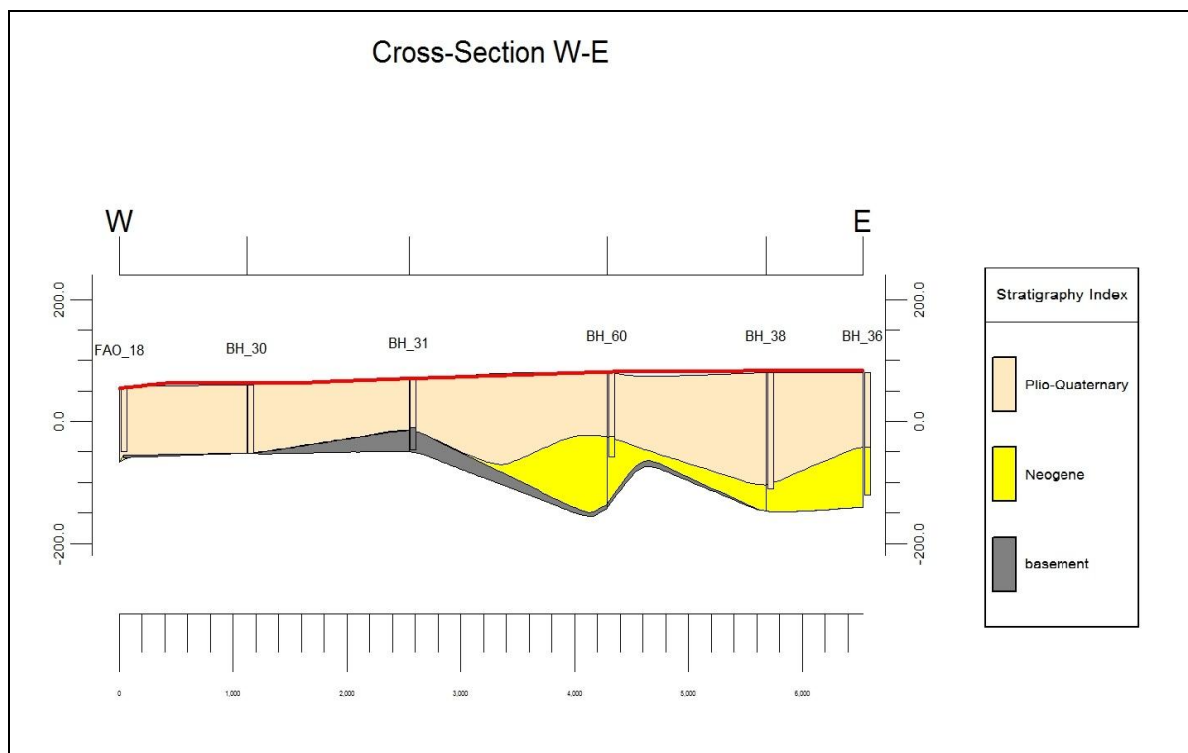


Εικόνα 6.6 Διάγραμμα συνδυαστικών στρωματογραφικών τομών πολλαπλών διευθύνσεων, με κατακόρυφη υπερύψωση x6. (Εντολή Stratigraphy / Fence / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ.παράγραφο Π.4.3)

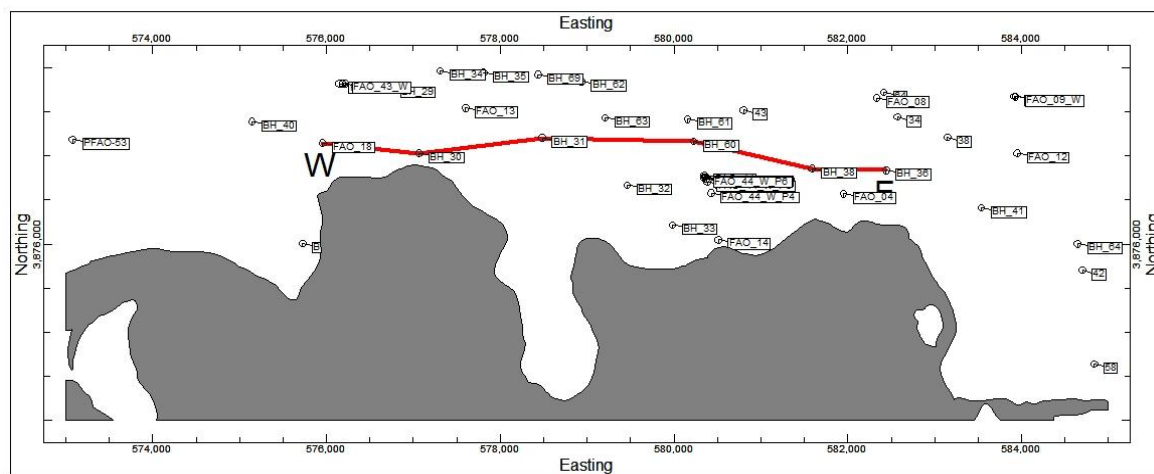


Εικόνα 6.7 Περιοχή έρευνας και οι διευθύνσεις των τομών

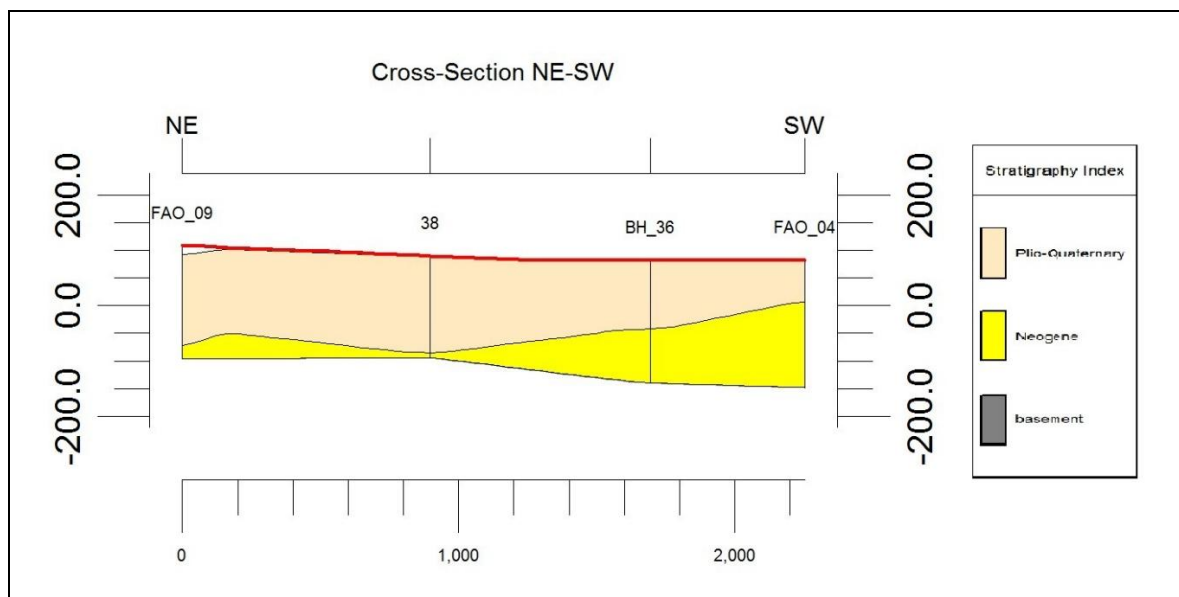
Στις επόμενες εικόνες (6.8 – 6.13) παρατίθενται τομές του στρωματογραφικού μοντέλου με διαγράμματα δύο διαστάσεων σε προκαθορισμένες διευθύνσεις, όπως και οι αντίστοιχοι χάρτες με τις διευθύνσεις των τομών.



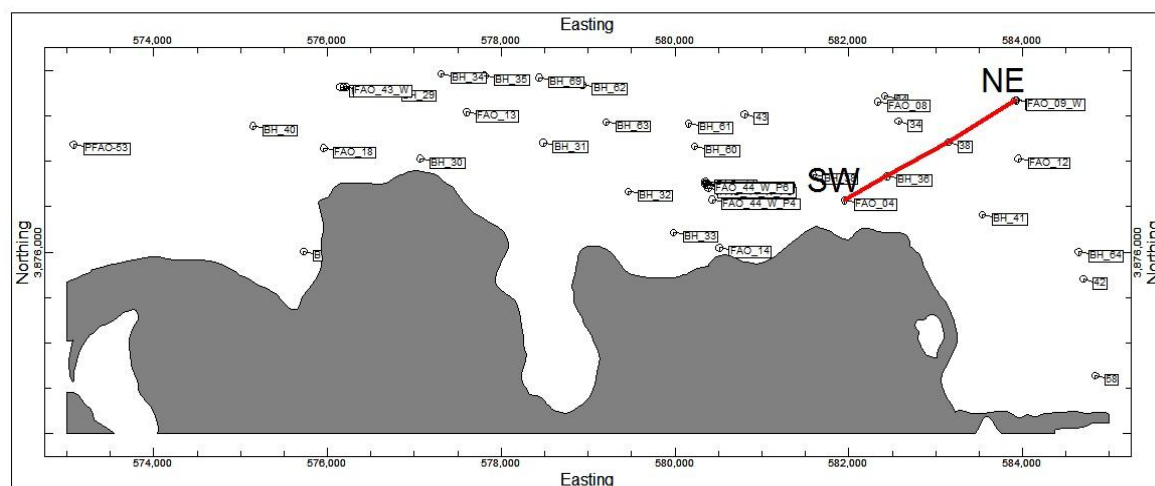
Εικόνα 6.8 Διάγραμμα στρωματογραφικής τομής διεύθυνσης Α – Δ (εντολή Stratigraphy / Section / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ παράγραφο Π.4.3)



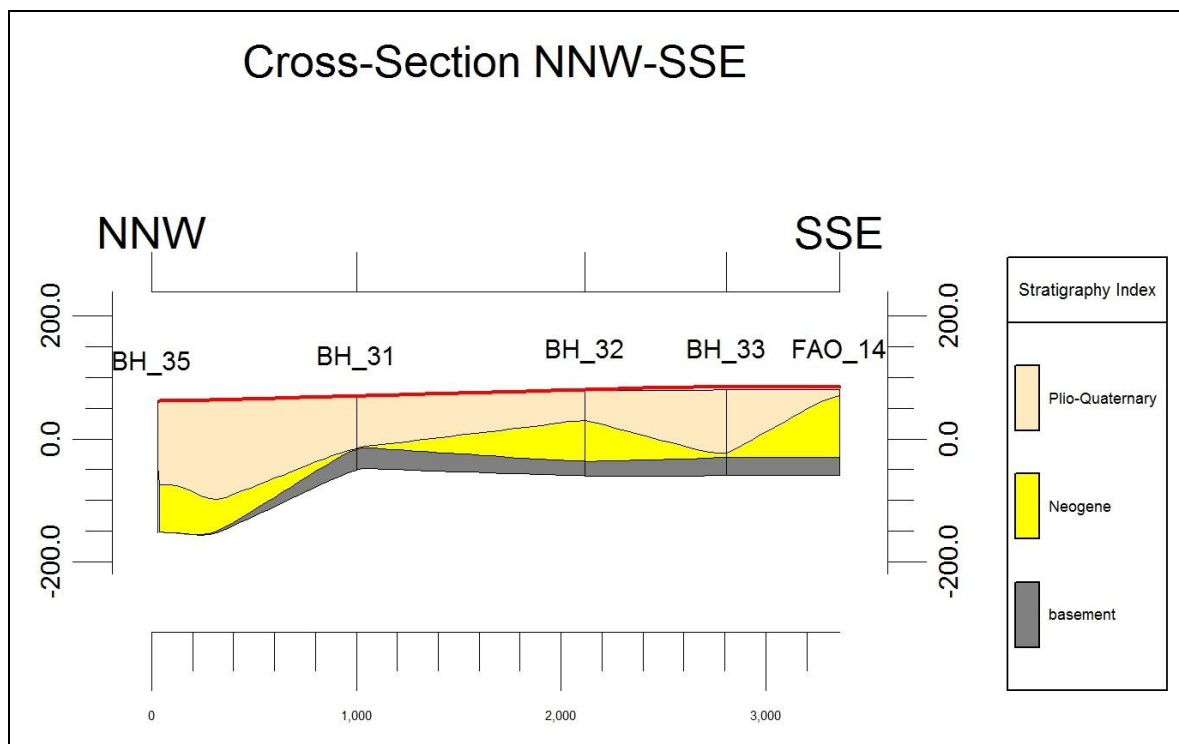
Εικόνα 6.9 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής



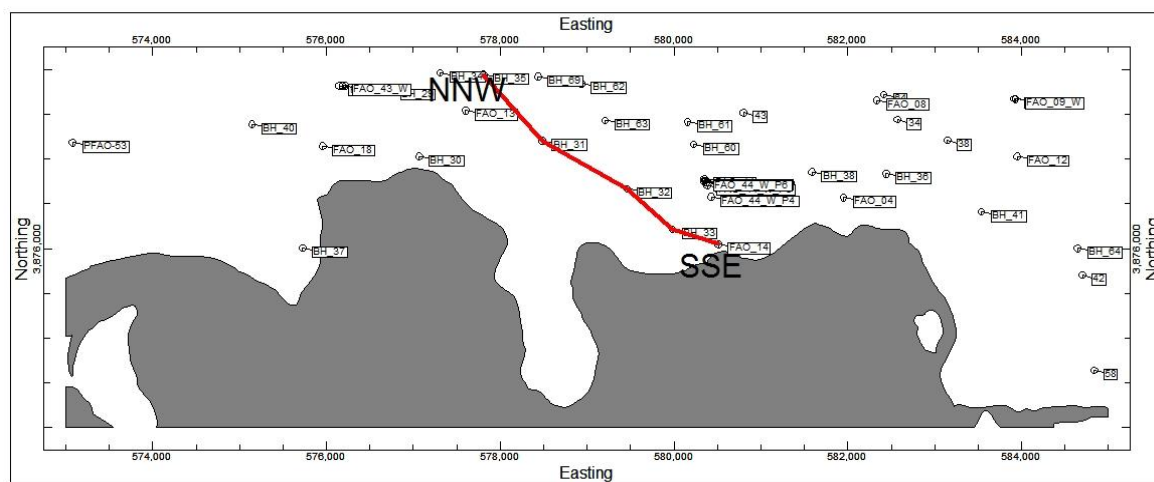
Εικόνα 6.10 Διάγραμμα στρωματογραφικής τομής διεύθυνσης BA – ΝΔ (εντολή Stratigraphy / Section / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ παράγραφο Π.4.3)



Εικόνα 6.11 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής



Εικόνα 6.12 Διάγραμμα στρωματογραφικής τομής διεύθυνσης ΒΒΔ – ΝΝΑ (εντολή Stratigraphy / Section / Modeled (Interpolated Surface Models) – βλ παράγραφο Π.4.3)

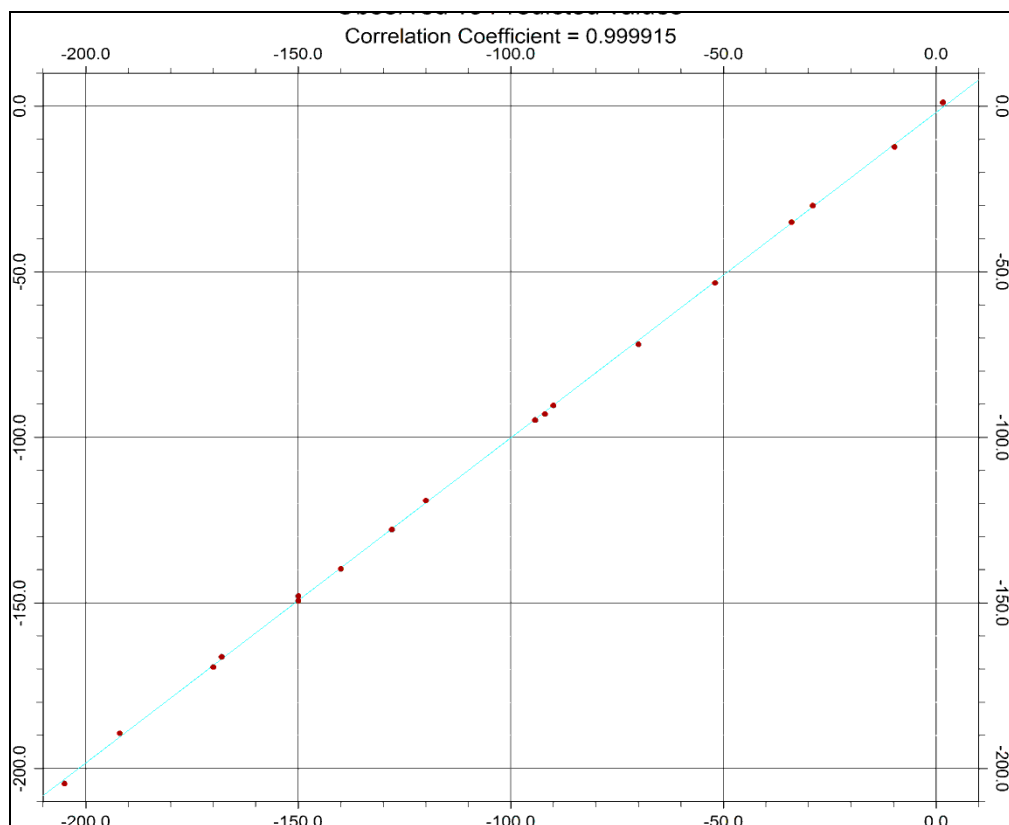


Εικόνα 6.13 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής

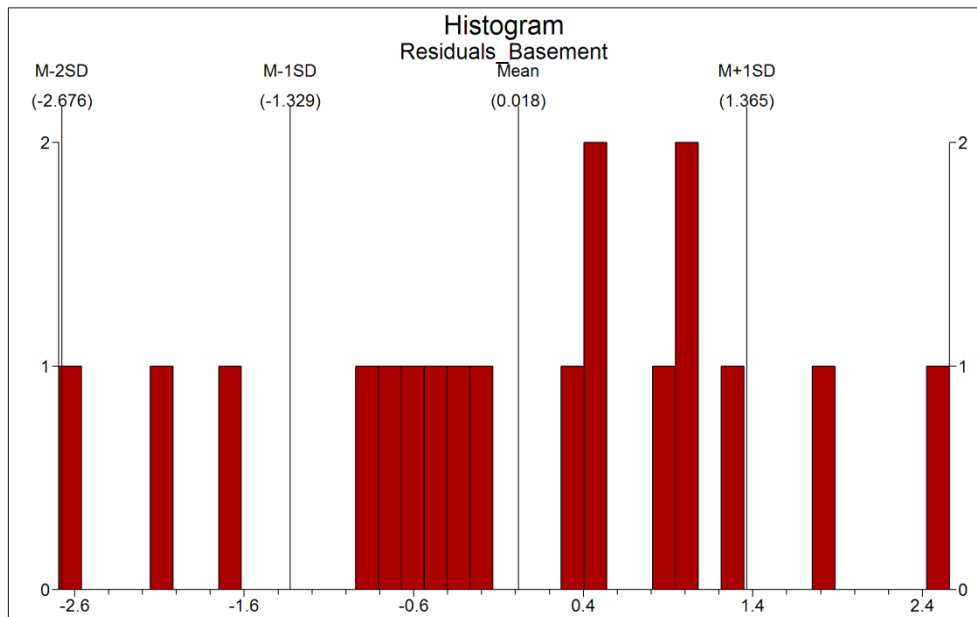
- 6.1.2.2 Έλεγχος αξιοπιστίας του προκύπτοντος λιθοστρωματογραφικού μοντέλου

Η γεωστατιστική αξιοπιστία του μοντέλου που κατασκευάστηκε ελέγχθηκε μέσω διαγραμμάτων τα οποία προβάλλουν στον έναν άξονα τις πραγματικές μετρηθείσες τιμές των απόλυτων υψομέτρων που συναντώνται οι ανώτερες επιφάνειες των Νεογενών και του υποβάθρου σε κάθε γεώτρηση και στον άλλον άξονα τις εκτιμώμενες από το μοντέλο τιμές για τα υψόμετρα των ίδιων επιφανειών. Με τη διαδικασία αυτή το λογισμικό αφαιρεί κάθε φορά την τιμή υψομέτρου που λαμβάνει από μία μόνο γεώτρηση και με τις εναπομείναντες γεωτρήσεις εκτιμά την τιμή που θα πρέπει να έχει η παράμετρος στη συγκεκριμένη θέση τις αφαιρούμενης γεώτρησης. Αυτό συμβαίνει για όλο το πλήθος των γεωτρήσεων. Επομένως, προκύπτει για κάθε γεώτρηση μια επιπλέον τιμή που εκτιμήθηκε από το μοντέλο και η οποία συγκρίνεται με την πραγματική.

Η επιφάνεια μεταξύ υποβάθρου και Νεογενούς οριστική σχετικά καλά. Πέντε από τις δεκαοκτώ εκτιμώμενες ήταν διαφορετικές σε σχέση με τις πραγματικά μετρηθείσες τιμές, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε 0.99 (Διαγράμματα 6.1 και 6.2).

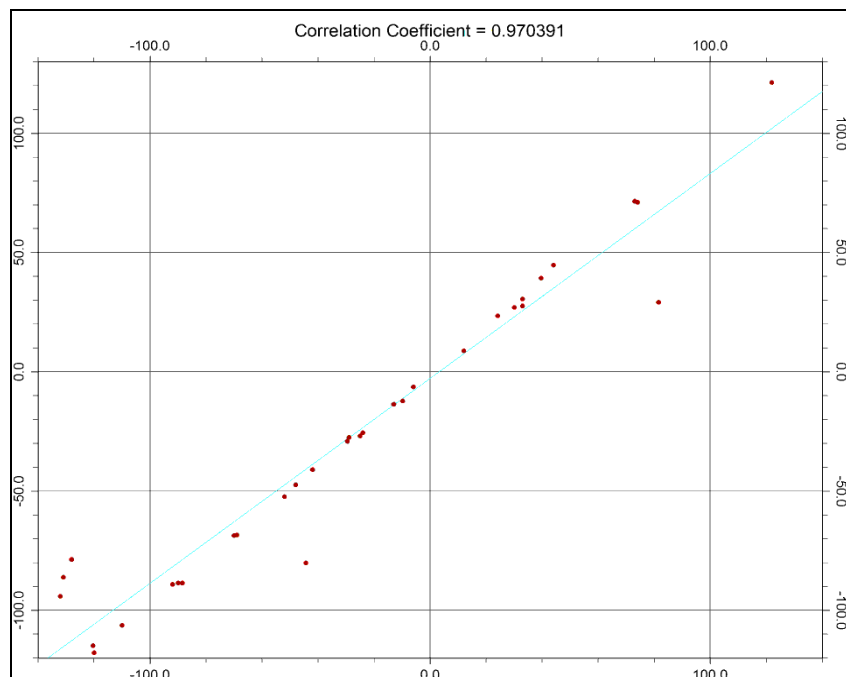


Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα εκτιμώμενων τιμών (calculated) προς πραγματικών τιμών (observed) για το βάθος της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου.

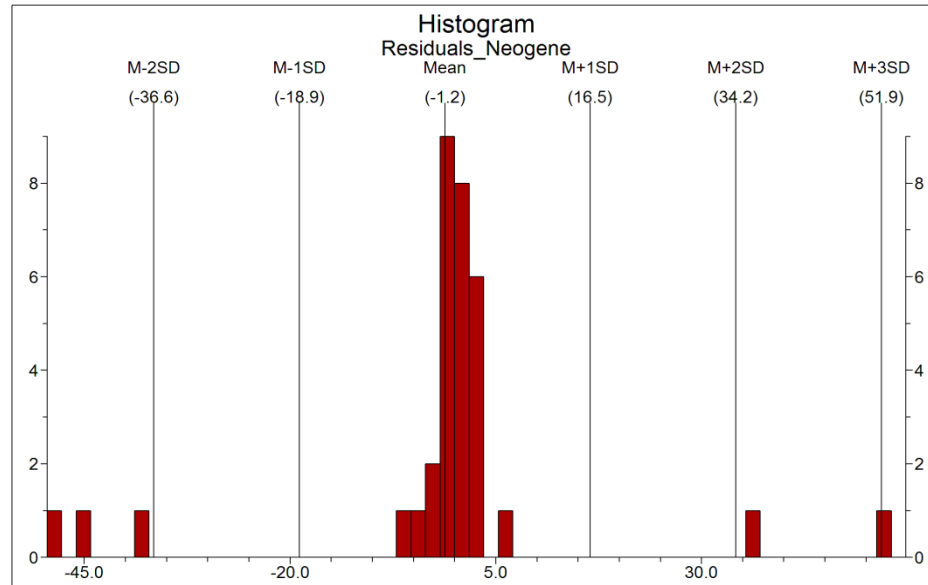


Διάγραμμα 6.2 Ιστόγραμμα απόκλισης των εκτιμώμενων τιμών από τις πραγματικές για το βάθος της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου.

Η επιφάνεια μεταξύ Νεογενούς και Πλειο - Τεταρτογενούς ορίστηκε αρκετά καλά. Μόνο πέντε από τις τριάντα τρεις εκτιμώμενες ήταν διαφορετικές σε σχέση με τις πραγματικά μετρηθείσες τιμές, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε 0.97 (Διαγράμματα 6.3 και 6.4).



Διάγραμμα 6.3 Διάγραμμα εκτιμώμενων τιμών (calculated) προς πραγματικών τιμών (observed) για το βάθος της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς



Διάγραμμα 6.4 Ιστόγραμμα απόκλισης των εκτιμώμενων τιμών από τις πραγματικές για το βάθος της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς

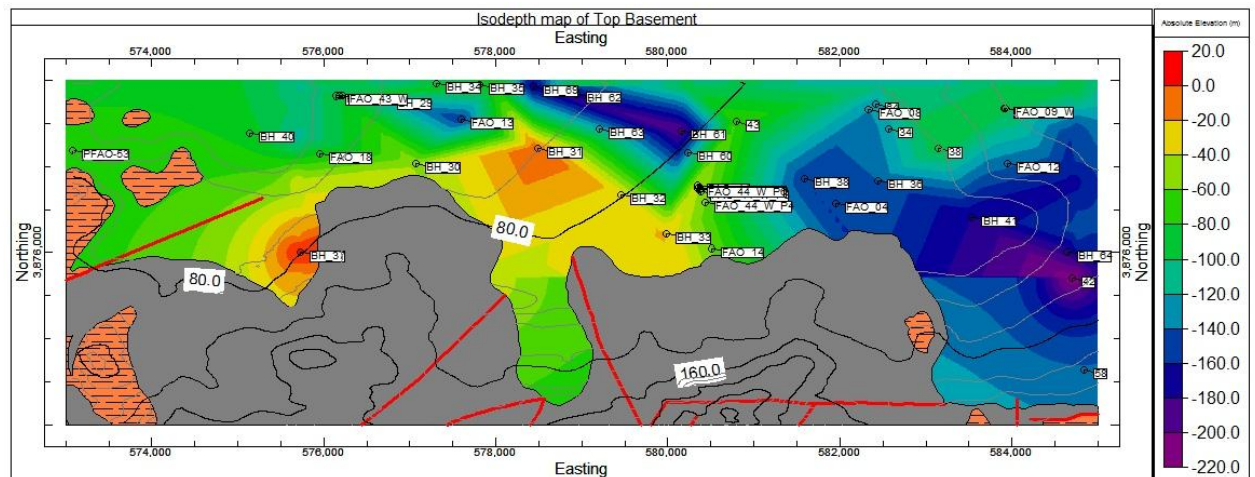
Η κατανομή των εκτιμώμενων από τις πραγματικές τιμές είναι κανονική γύρω από το μηδέν στην περίπτωση του διαγράμματος 6.4, συμπεραίνοντας ότι δεν εισάγεται συστηματική μεροληψία στην εκτίμηση. Αντιθέτως στο διάγραμμα 6.2 δεν φαίνεται ξεκάθαρα μια τέτοια κατανομή, ίσως εξαιτίας του μικρού πλήθους τιμών. Παρόλα αυτά όμως, και με δεδομένες τις υψηλές τιμές στους συντελεστές συσχέτισης και για τις δύο περιπτώσεις, συμπεραίνεται ότι τα μοντέλα, που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι γεωστατιστικώς αξιόπιστα

- 6.1.2.3 Καθορισμός πιθανών ρηγμάτων μέσω κατασκευής χαρτών ισοπαχών

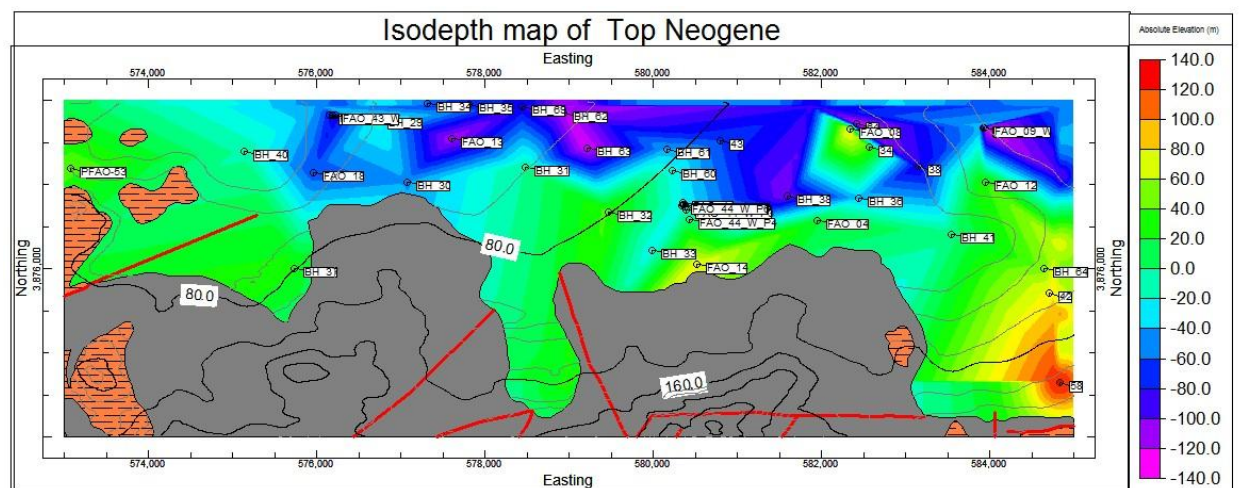
Ο καθορισμός των επιφανειών μεταξύ υποβάθρου και Νεογενούς, αλλά και μεταξύ Νεογενούς και Πλειο-Τεταρτογενούς αποτέλεσε οδηγό για τον εντοπισμό ρηγμάτων τα οποία δεν εμφανίζονται επιφανειακά, σε περιοχές όπου το υψόμετρο παρουσιάζει απότομες διαφοροποιήσεις.

Η χρήση της τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον εύκολο και γρήγορο σχεδιασμό των ισοβαθών χαρτών, οι οποίοι αποδεικνύονται εξαιρετικά χρήσιμοι για τον εντοπισμό τέτοιων απότομων διαφοροποιήσεων σε λεκάνες (Panagopoulos et al., 2013)

Με βάση το στρωματογραφικό μοντέλο δημιουργήθηκαν, δισδιάστατοι χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τις ισοβαθείς των επιλεγμένων ορίων των στρωματογραφικών μονάδων. Οι χάρτες ισοβαθών απεικονίζουν το βάθος στο οποίο συναντάται το ανώτερο ή το κατώτερο όριο κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο, με καμπύλες οι οποίες συνδέουν τα σημεία ίσου βάθους του ορίου του στρώματος.



Εικόνα 6.14 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου και η τοπογραφία της περιοχής. Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης παρουσιάζονται οι 44 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης. Με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα έτσι όπως προκύπτουν από το χάρτη του ΙΓΜΕ.

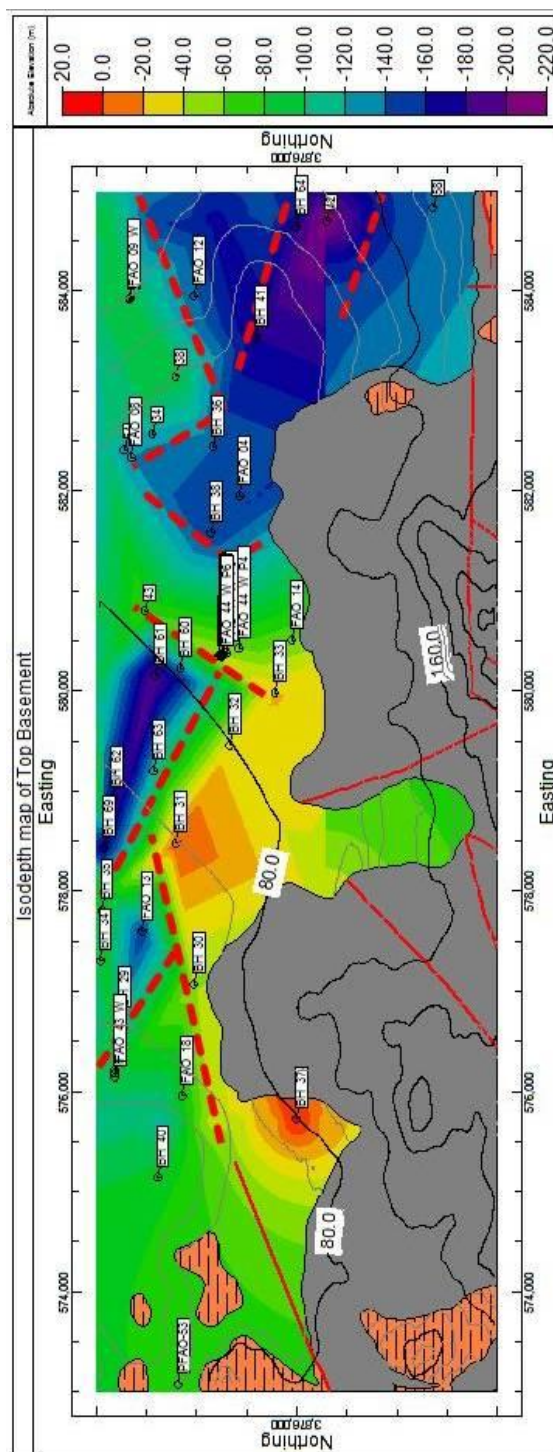


Εικόνα 6.15 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών σχηματισμών και η τοπογραφία της περιοχής. Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης, παρουσιάζονται οι 44 γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης. Με κόκκινες γραμμές διακρίνονται τα ρήγματα έτσι όπως προκύπτουν από το χάρτη του ΙΓΜΕ.

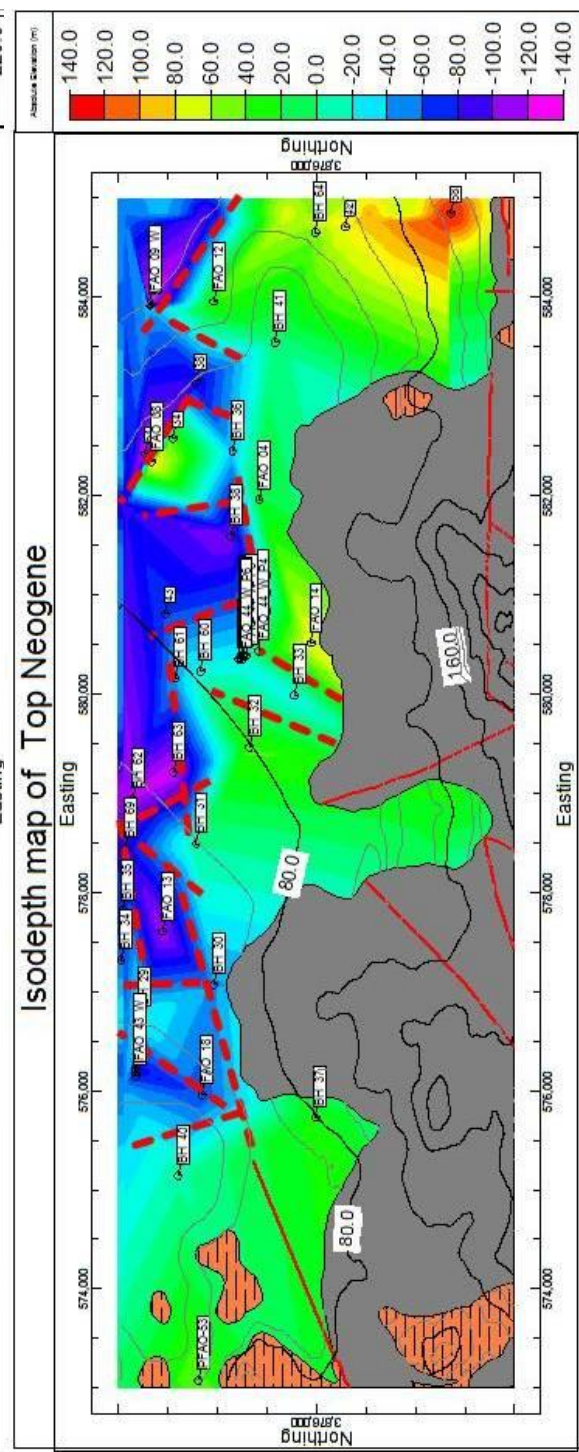
Στους παραπάνω χάρτες (εικόνα 6.14 και 6.15), εντοπίζονται περιοχές όπου παρουσιάζονται απότομες αλλαγές στα βάθη.

Η ερμηνεία του χάρτη ισοβαθών περιορίστηκε στην περιοχή όπου υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα δεδομένα γεωτρήσεων. Επιπλέον, αυτή η ερμηνεία βασίζεται στις παραδοχές ότι σε περιοχές όπου αφενός ο αριθμός των γεωτρήσεων είναι ικανοποιητικός, αφετέρου η μεταβολή του βάθους εμφανίζεται πιο απότομα, τότε η ύπαρξη ρηγμάτων είναι πιο πιθανή (Panagopoulos et al., 2013).

Επισημαίνεται ότι ο προσδιορισμός πιθανών ρηγμάτων τον τρόπο που αναπτύχθηκε παραπάνω είναι περισσότερο επισφαλής σε περιοχές όπου τα αρχικά δεδομένα είναι περιορισμένα. Αντιθέτως, σε περιοχές όπου τα αρχικά δεδομένα θεωρούνται ικανοποιητικά ο καθορισμός πιθανών ρηγμάτων θεωρείται αξιόπιστος αφού λαμβάνει υπόψη όλα τα στοιχεία που χρειάζονται αποτυπώνοντάς τα με εποπτικό τρόπο έτσι ώστε να γίνεται σχετικά εύκολη η αναγνώρισή τους. Η μέθοδος αυτή κρίνεται ιδιαίτερως χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν επιφανειακά γεωλογικά στοιχεία υπαίθρου εξαιτίας της κάλυψής τους από πρόσφατες γεωλογικά αποθέσεις όπως και στη συγκεκριμένη περίπτωση της ευρύτερης περιοχής της Πόμπιας όπου παρουσιάζει εκτεταμένη κάλυψη από τις Πλειο-Τεταρτογενείς αποθέσεις. Με βάση αυτό το σκεπτικό ορίστηκε ένας αριθμός πιθανών ρηγμάτων (εικόνες 6.16 a και b).



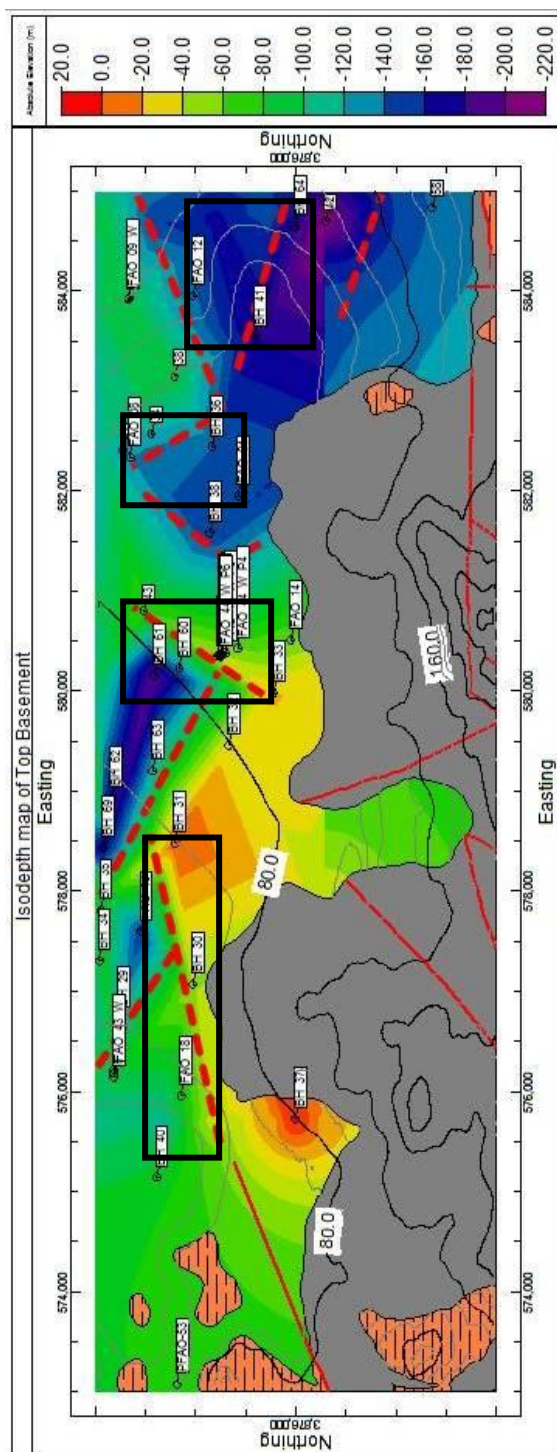
a.



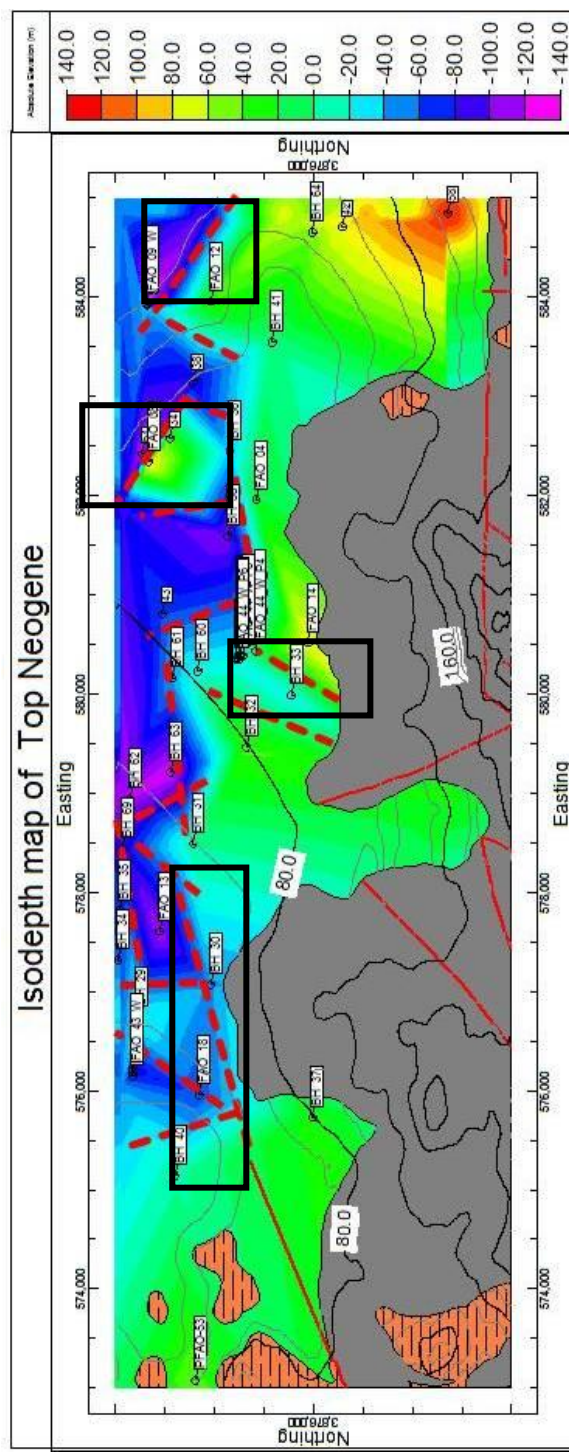
b.

Εικόνα 6.16 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου (a) και της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς (b) και η τοπογραφία της περιοχής (μαύρες και γκρι γραμμές). Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης παρουσιάζονται και οι σαράντα τέσσερις (44) γεωτρήσεις. Οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τα ρήγματα σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓ.ΜΕ., ενώ οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα πιθανά ρήγματα έτσι όπως προέκυψαν από την ερμηνεία των ισοβαθών χαρτών.

Στους χάρτες ισοβαθών (εικόνα 6.16 a,b) διακρίθηκαν περιοχές με απότομη αλλαγή βάθους εμφάνισης του ανώτερου τμήματος του υποβάθρου – κατώτερου τμήματος του Νεογενούς και αντίστοιχα, ανώτερη τμήματος Νεογενούς – κατώτερου τμήματος Πλειο-Τεταρτογενούς. Οι απότομες αλλαγές στο βάθος εμφάνισης του ανώτερου τμήματος του υποβάθρου θα μπορούσε να αποδοθεί σε ύπαρξη παλαιοαναγλύφου. Υπάρχουν όμως, πιθανά ρήγματα που εμφανίζονται στην ίδια περιοχή, με την ίδια διεύθυνση και στην ανώτερη επιφάνεια του υποβάθρου και στην ανώτερη επιφάνεια του Νεογενούς (εικόνα 6.16 εντός μαύρων πλαισίων). Τα πιθανά αυτά ρήγματα ερμηνεύονται ως προκύπτοντα από τεκτονικές κινήσεις μετά το Νεογενές.



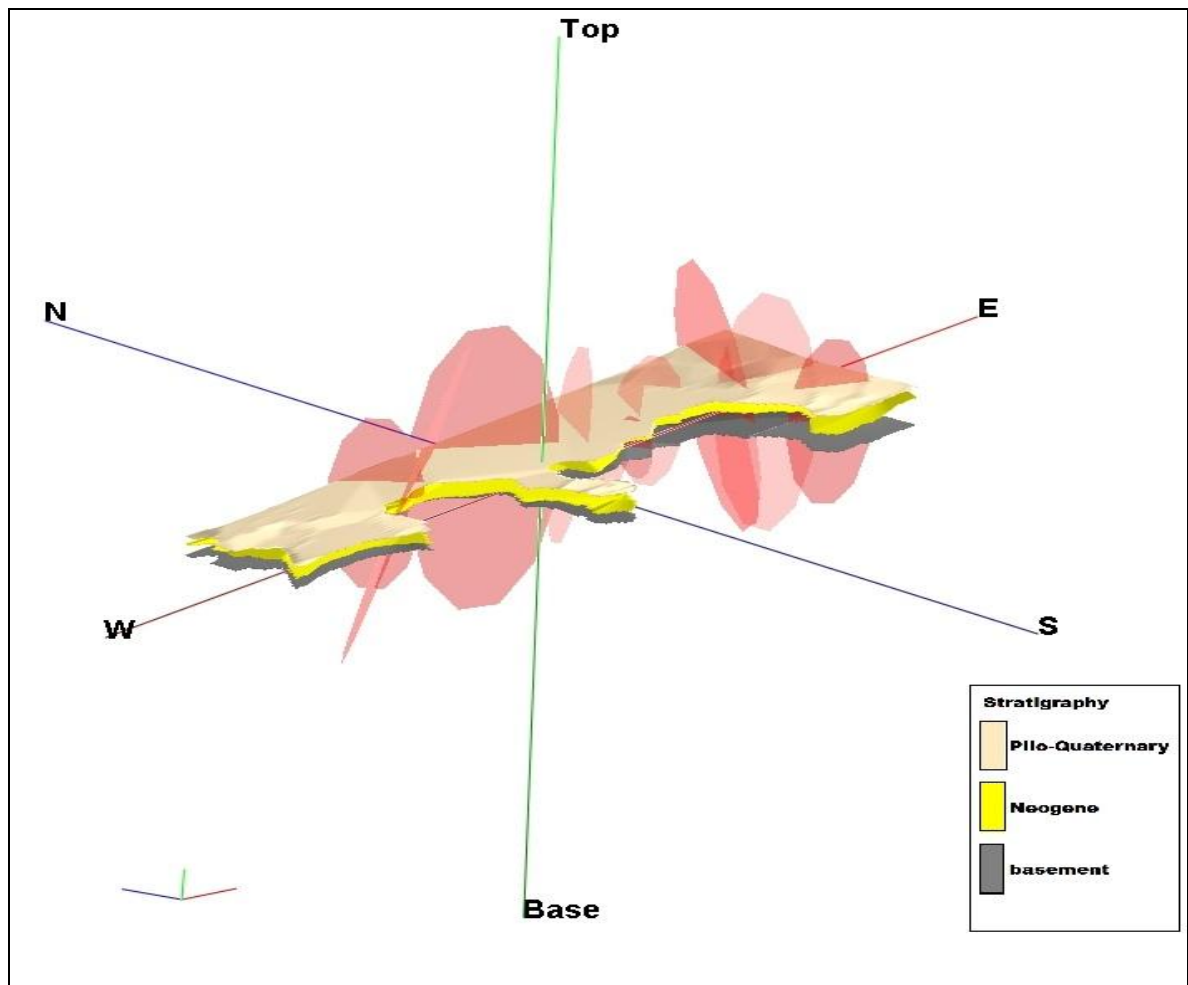
a.



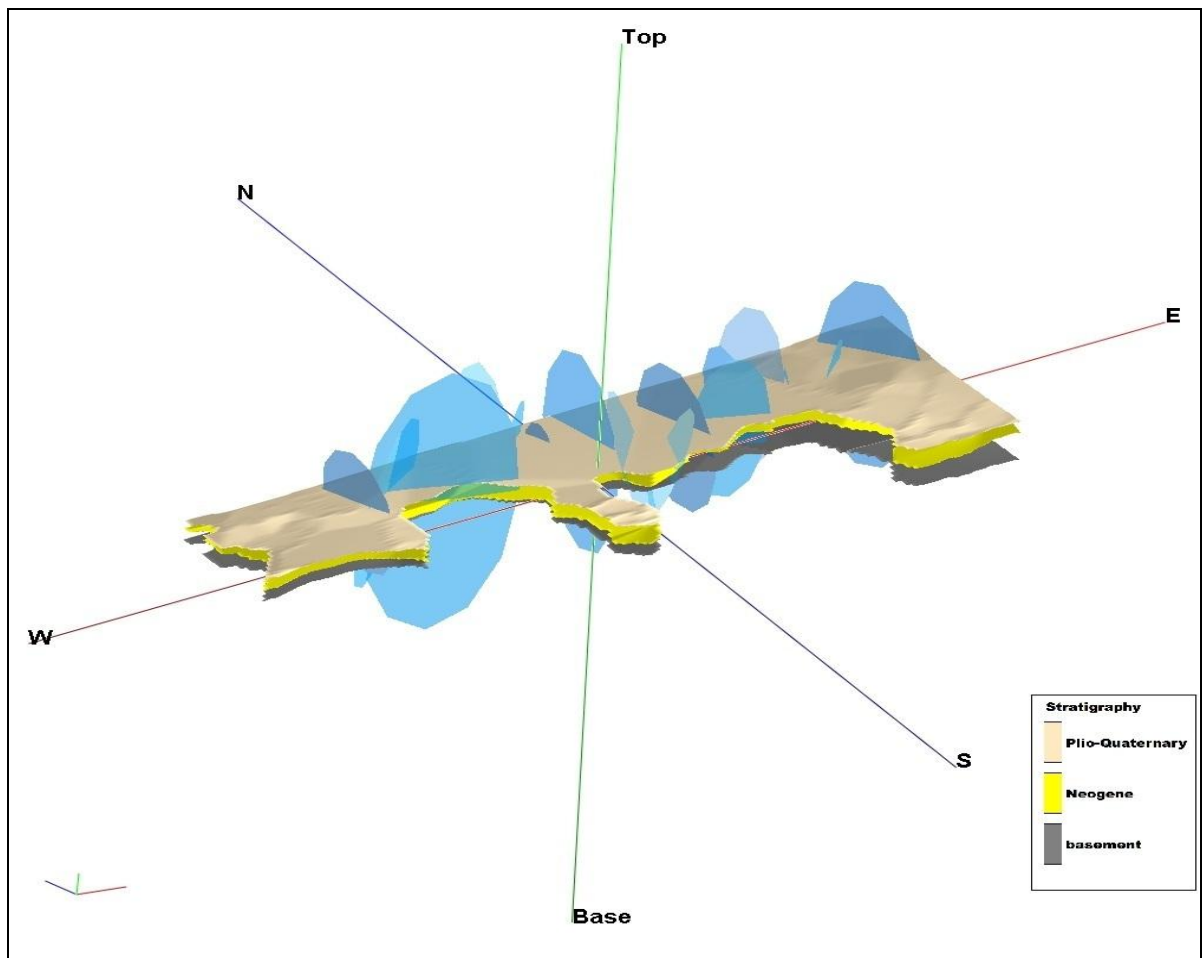
b.

Εικόνα 6.17 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου (a) και της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς (b) και η τοπογραφία της περιοχής (μαύρες και γκρι γραμμές). Το υπόμνημα δείχνει το απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα. Επίσης παρουσιάζονται και οι σαράντα τέσσερις (44) γεωτρήσεις. Οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν τα ρήγματα σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓ.ΜΕ., ενώ οι διακεκομμένες γραμμές απεικονίζουν τα πιθανά ρήγματα έτσι όπως προέκυψαν από την ερμηνεία των ισοβαθών χαρτών. Εντός μαύρων πλαισίων τα ρήγματα που εντοπίζονται και στο Νεογενές και στο υπόβαθρο.

Στις παρακάτω εικόνες (6.18 – 6.19) παρουσιάζονται οι θέσεις των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν στο υπόβαθρο και στο Νεογενές, σε τρεις διαστάσεις. Τα ρήγματα απεικονίζονται με τη μορφή δίσκων.

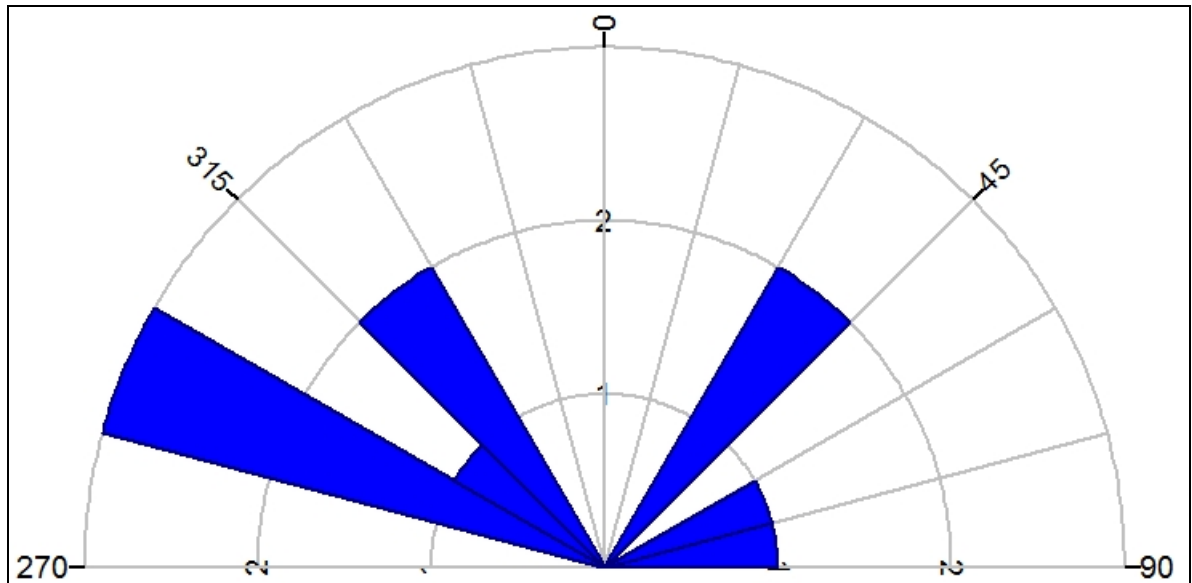


Εικόνα 6.18 Τρισδιάστατη απεικόνιση των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν από το χάρτη ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου. Τα ρήγματα απεικονίζονται με τη μορφή δίσκων με κατακόρυφη υπερύψωση πάνω από την επιφάνεια που οριοθετεί την ενότητα του Νεογενούς και του Πλειο-τεταρτογενούς αλλά και πάνω από την τοπογραφική για λόγους που περιορίζονται από το λογισμικό



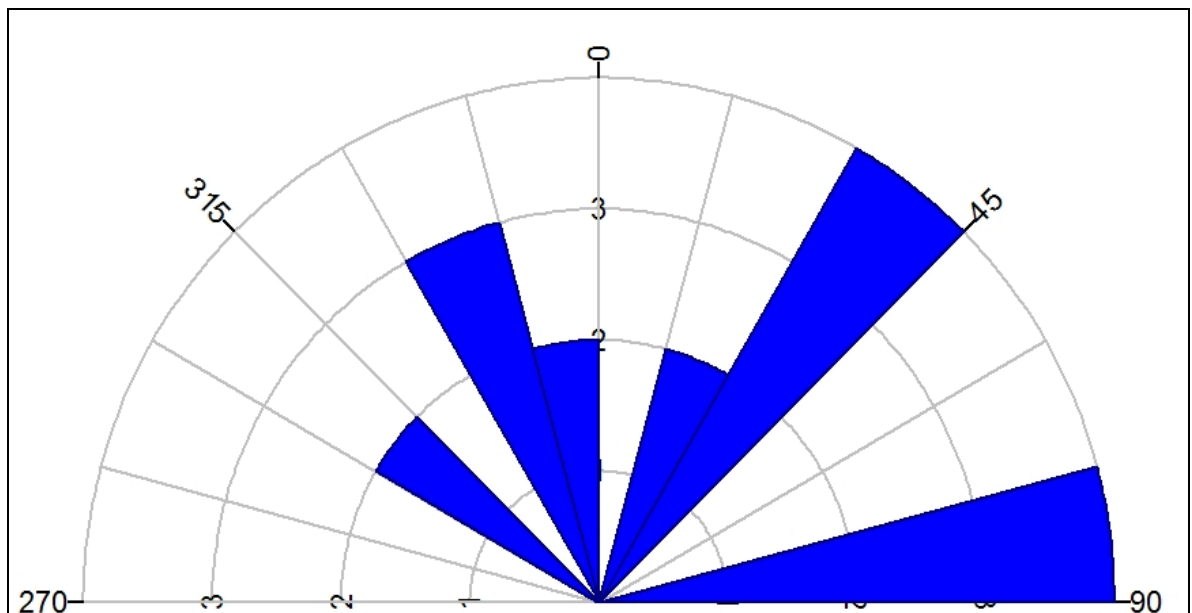
Εικόνα 6.19 Τρισδιάστατη απεικόνιση των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν από το χάρτη ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών. Τα ρήγματα απεικονίζονται με τη μορφή δίσκων με κατακόρυφη υπερύψωση πάνω από την επιφάνεια που οριοθετεί την ενότητα του Νεογενούς και του Πλειο-τεταρτογενούς αλλά και πάνω από την τοπογραφική για λόγους που περιορίζονται από το λογισμικό

Με βάση τα ρήγματα που εντοπίστηκαν από τους χάρτες ίσου βάθους των Νεογενών και του υποβάθρου προέκυψαν δύο αντίστοιχα ροδογράμματα με στόχο την ομαδοποίηση των διευθύνσεων των ρηγμάτων αυτών.



Εικόνα 6.20 Ροδόγραμμα ρηγμάτων υποβάθρου (πλήθος ρηγμάτων=10)

Η εικόνα 6.20 παρουσιάζει το ροδόγραμμα των ρηγμάτων που εντοπίζονται στο υπόβαθρο. Ο πληθυσμός των ρηγμάτων του υποβάθρου είναι δέκα (10). Η κύρια διεύθυνση που εντοπίζεται είναι ΔΒΔ – ΑΝΑ. Ενώ εντοπίζονται άλλες τρεις διευθύνσεις, μια ΒΔ – ΝΑ, μια ΒΑ – ΝΔ και μια τελευταία ΑΒΑ – ΔΝΔ.



Εικόνα 6.21 Ροδόγραμμα ρηγμάτων Νεογενούς (πλήθος ρηγμάτων=17)

Η εικόνα 6.21 παρουσιάζει το ροδόγραμμα των ρηγμάτων που εντοπίζονται στο Νεογενές. Ο πληθυσμός των ρηγμάτων του υποβάθρου είναι δέκα (17). Η κύρια διεύθυνση

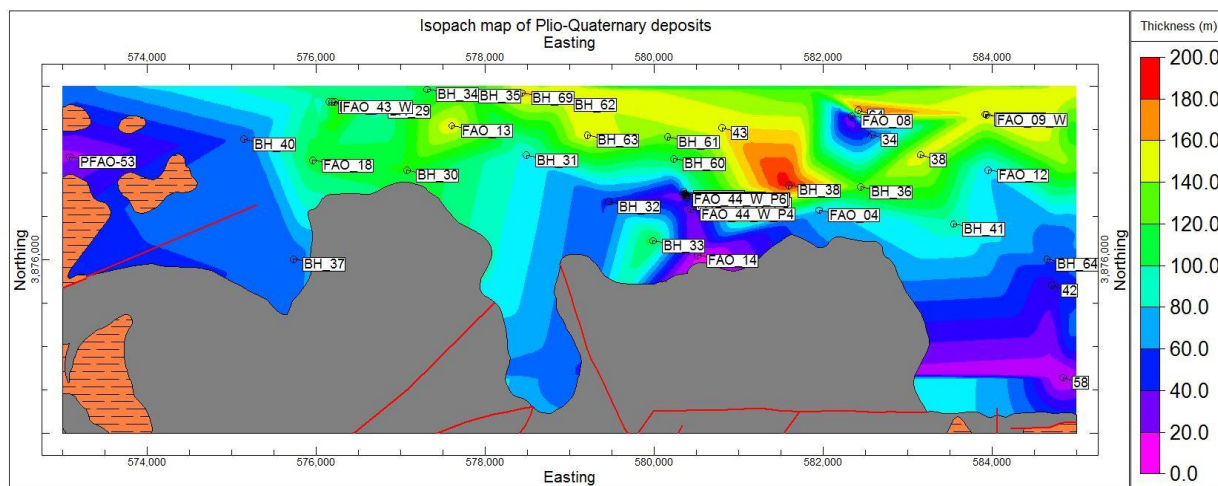
που εντοπίζεται είναι BA – ΝΔ. Ενώ εντοπίζονται άλλες τρεις διευθύνσεις, μια ABA – ΔΝΔ, μια ΒΔ – ΝΑ και μια τελευταία ΔΒΔ – ΑΝΑ.

Τα ρήγματα αυτά έχουν παραπλήσιες διευθύνσεις (BBA – ΝΝΔ και ΒΔ – ΝΑ) με τις γενικές διευθύνσεις των ρηγμάτων που συνδέθηκαν με τη διάνοιξη της λεκάνης του Τεταρτογενούς στην ευρύτερη περιοχή (Βασιλάκης, 2006; Peterek and Schwarze, 2004). Ενώ, παραπλήσιες διευθύνσεις έχουν υπολογιστεί και στην ανατολική Μεσσαρά – υπολεκάνη Χάρακα (Κίσσας, 2013).

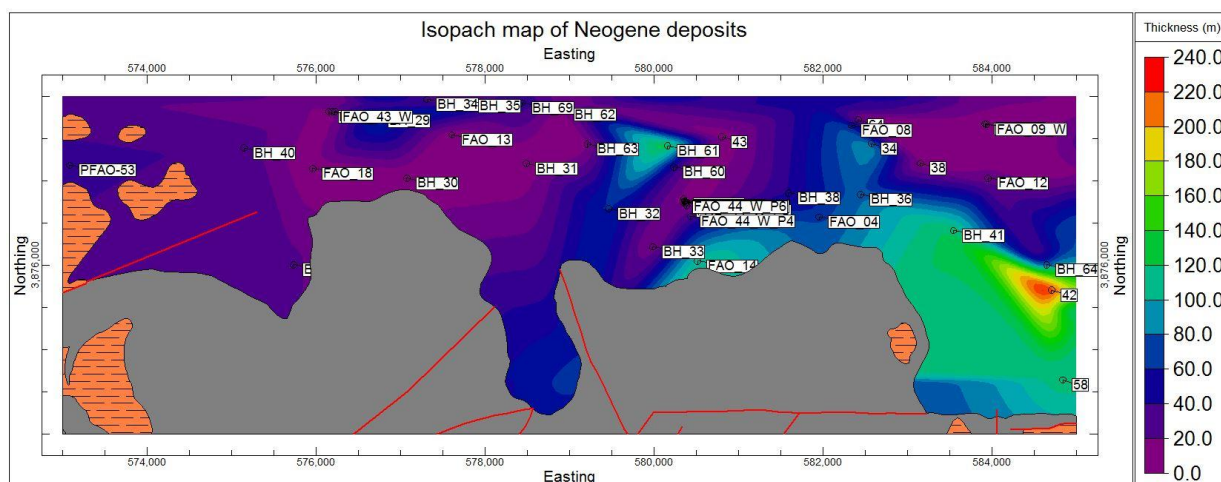
• 6.1.2.4 Κατασκευή χαρτών ισοπαχών

Οι χάρτες ίσου πάχους κατασκευάστηκαν με σκοπό να προσδιοριστεί η κατανομή των γεωλογικών ενοτήτων και να υπολογιστεί το πάχος τους, καθώς και να εξαχθεί ο όγκος που καταλαμβάνουν.

Από το στρωματογραφικό μοντέλο, δημιουργήθηκαν διδιάστατοι χάρτες ισοπαχών των Πλειο – Τεταρτογενών και Νεογενών αποθέσεων (Εντολή Stratigraphy/ Stratigraphic Thicknesses/ 2-Dimensional (Isopach), βλ. παράγραφο Π.4.3). Οι χάρτες ισοπαχών απεικονίζουν το πάχος κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο με καμπύλες οι οποίες συνδέουν τα σημεία ίσου πάχους του στρώματος.



Εικόνα 6.22 Χάρτης ισοπαχών του συνόλου των Πλειο-Τεταρτογενών αποθέσεων. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα.



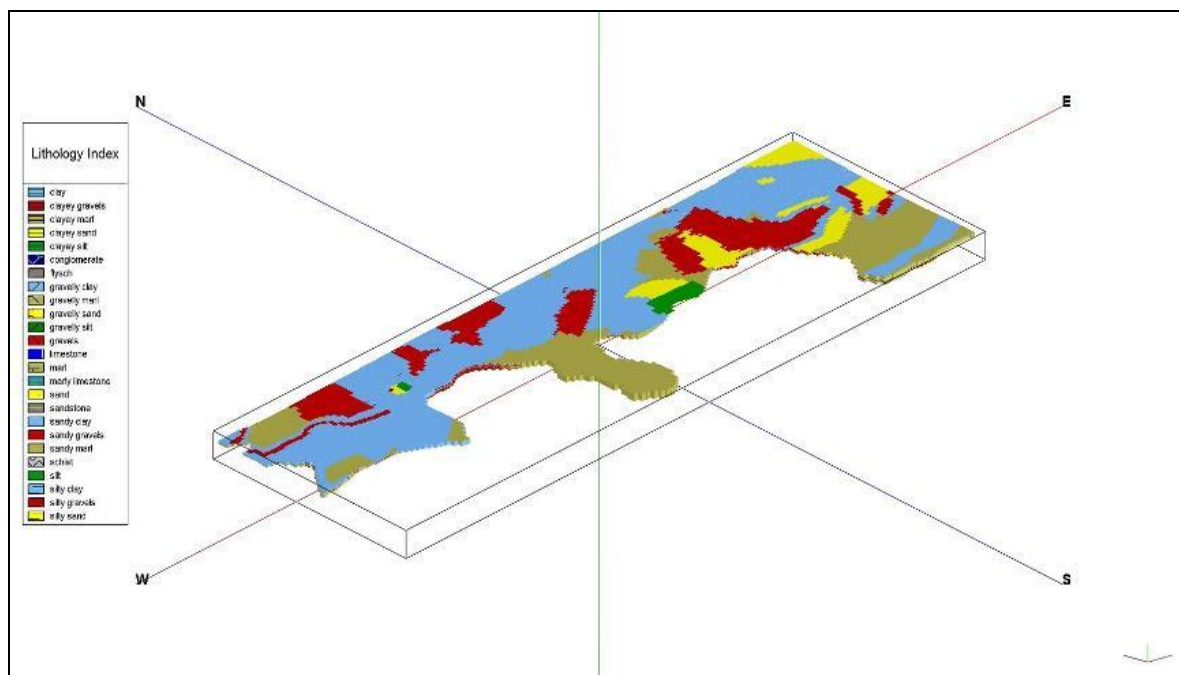
Εικόνα 6.23 Χάρτης ισοπαχών του συνόλου των Νεογενών αποθέσεων. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα.

Από τους παραπάνω χάρτες (εικόνες 6.22 και 6.23) εξάγεται συμπέρασμα σχετικά με το εύρος του πάχους των στρωματογραφικών ενοτήτων των Πλειο-τεταρτογενών και των Νεογενών σχηματισμών. Οι Πλειο-τεταρτογενείς σχηματισμοί κυμαίνονται σε εύρος πάχους μεταξύ λίγων μέτρων (>0m) έως και 200 m, ενώ οι Νεογενείς σχηματισμοί σε ένα εύρος πάχους μεταξύ του μηδέν και έως και 240m.

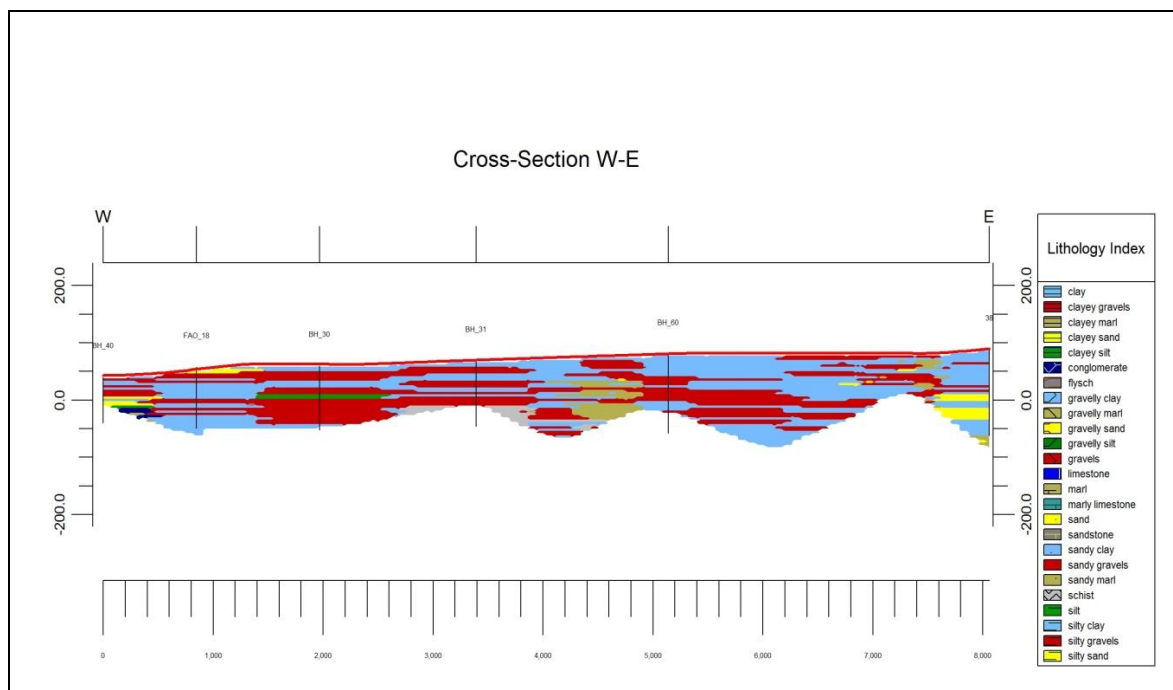
Εξάγονται επίσης οι τιμές όγκων των στρωματογραφικών ενοτήτων των Πλειο-τεταρτογενών και των Νεογενών σχηματισμών. Οι Πλειο-τεταρτογενείς σχηματισμοί έχουν όγκο $2,6 \text{ km}^3$, ενώ οι Νεογενείς σχηματισμοί $2,3 \text{ km}^3$.

• 6.1.2.5 Κατασκευή λιθολογικού μοντέλου

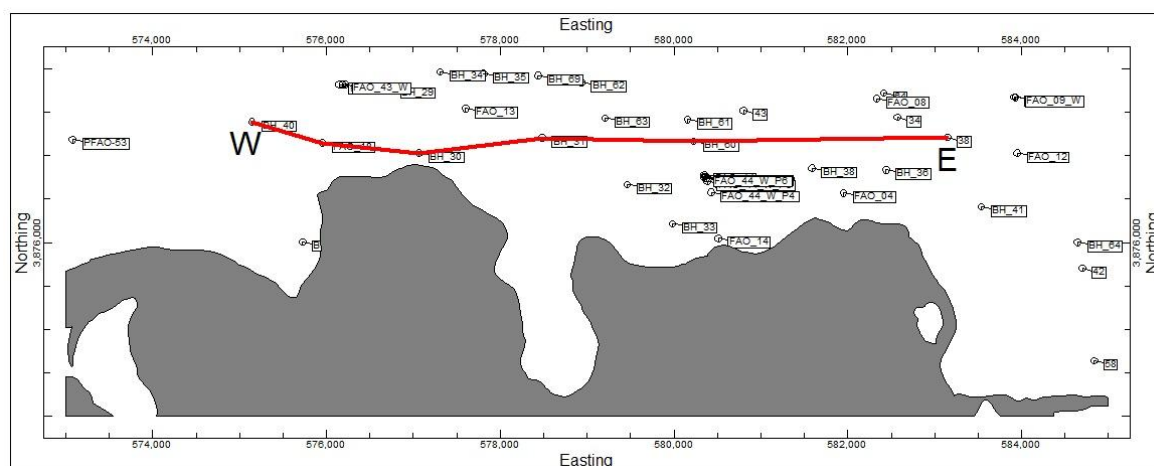
Ο προσδιορισμός της χωρικής κατανομής και του πάχους των αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αποθέσεων, εντός των Πλειο – Τεταρτογενών σχηματισμών, καθώς στις αποθέσεις αυτές είναι δυνατό να παγιδευτούν νερά, έγινε με την κατασκευή του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου (Εντολή Lithology / Model, βλ. παράγραφο Π.4.4). Η κατασκευή τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου της ενότητας των Νεογενών δεν κρίθηκε σκόπιμη καθώς η πλειονότητα της ενότητας αυτής απαρτίζεται από μη διαπερατούς σχηματισμούς.



Εικόνα 6.24 Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο περιορισμένο εντός της ανώτερης και κατώτερης επιφάνειας του Πλειό – Τεταρτογενούς. Στο υπόμνημα οι λιθολογίες που εντοπίστηκαν



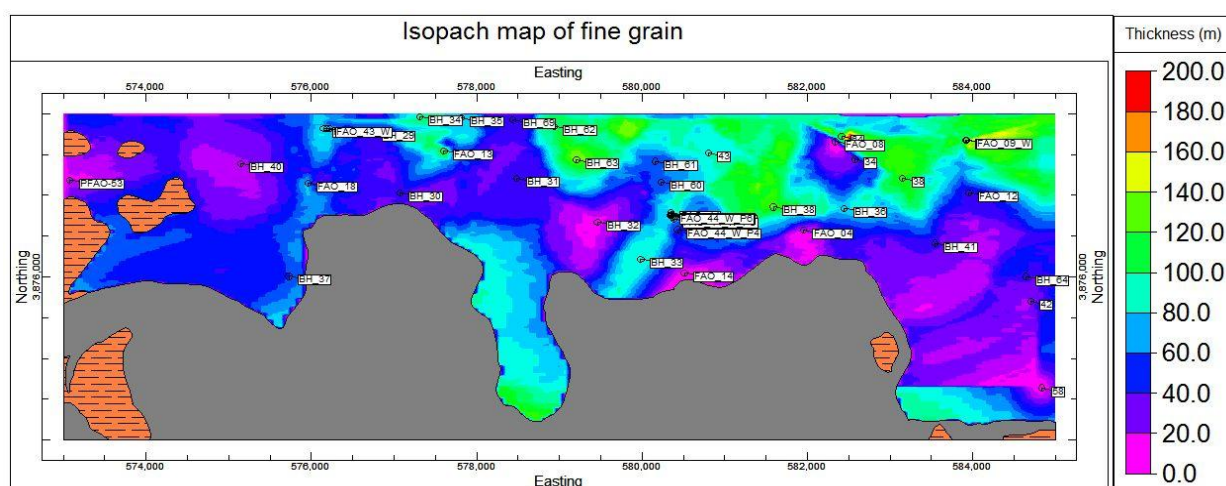
Εικόνα 6.25 Διάγραμμα λιθολογικής τομής διεύθυνσης Δ – Α (εντολή Lithology / Section – βλ παράγραφο Π.4.4)



Εικόνα 6.26 Περιοχή έρευνας και η διεύθυνση της τομής

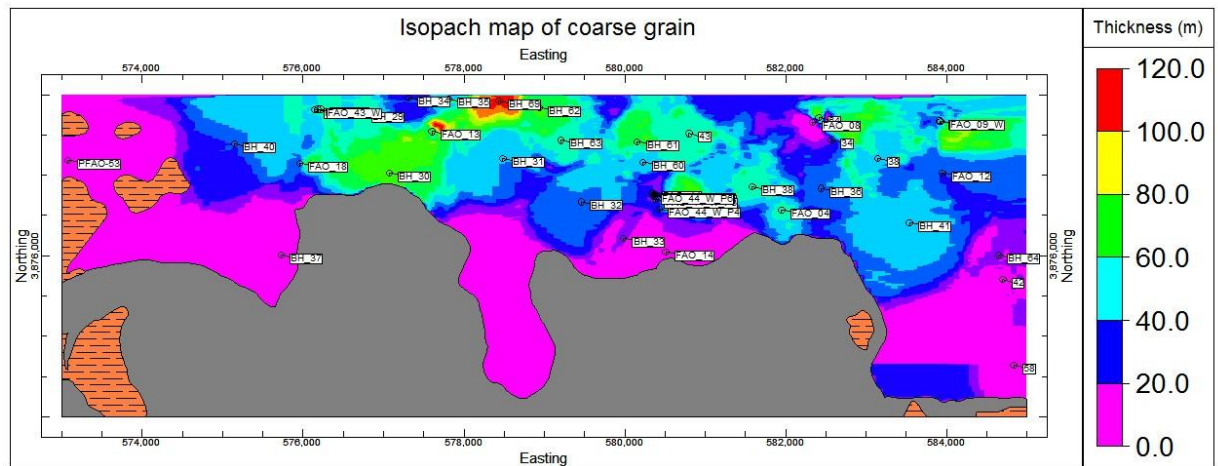
Από το λιθολογικό μοντέλο κατασκευάστηκε δισδιάστατη τομή W – E. Στην τομή αυτή, είναι εμφανώς διακριτές οι εναλλαγές μεταξύ αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων σχηματισμών που εντοπίζονται εντός της ενότητας του Πλειο – Τεταρτογενούς, δημιουργώντας παγίδες ικανές να εγκλωβίσουν το γεωθερμικό δυναμικό.

Με βάση το λιθολογικό μοντέλο εξήχθησαν δύο χάρτες ισοπαχών καμπύλων (Εντολή Lithology/ Isopach (2D), βλ.παράγραφο Π.4.4) των αποθέσεων του Πλειο – Τεταρτογενούς. Οι αποθέσεις κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με τη κοκκομετρία σε λεπτόκοκκους (άργιλος – ιλύς – μάργα) και αδρόκοκκους (άμμος – χαλίκια), έτσι ώστε να υπολογιστεί το πάχος τους και να εντοπιστούν οι περιοχές με τη μεγαλύτερη διαπερατότητα.



Εικόνα 6.27 Χάρτης ισοπαχών των λεπτόκοκκων αποθέσεων με τις υπάρχουσες γεωτρήσεις. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα.

Σύμφωνα με το χάρτη, παρουσιάζεται αυξημένο πάχος λεπτόκοκκων αποθέσεων στο βόρειο – ανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης, ενώ μικρό πάχος εμφανίζεται στο νότιο και ανατολικό – νότιο - ανατολικό τμήμα της περιοχής. Στις περιοχές αυτές, τα πάχη των λεπτόκοκκων αποθέσεων που εξάγονται από το χάρτη θεωρούνται αξιόπιστα, καθώς στα σημεία αυτά υπάρχει ικανός αριθμός δεδομένων από της γεωτρήσεις και βυθοσκοπήσεις.



Εικόνα 6.28 Χάρτης ισοπαχών των αδρόκοκκων αποθέσεων με τις υπάρχουσες γεωτρήσεις. Το υπόμνημα δείχνει το πάχος σε μέτρα

Αυξημένο πάχος αδρόκοκκων αποθέσεων παρουσιάζεται στο βόρειο και βόρειο – ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ ελάχιστα έως μηδενικά πάχη εντοπίζονται στο νότιο – ανατολικό τμήμα της περιοχής. Η θεώρηση της αξιοπιστίας των σημείων είναι η ίδια όπως αυτή αναφέρθηκε στο χάρτη ισοπαχών των λεπτόκοκκων αποθέσεων.

6.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΡΑΔΟΝΙΟ

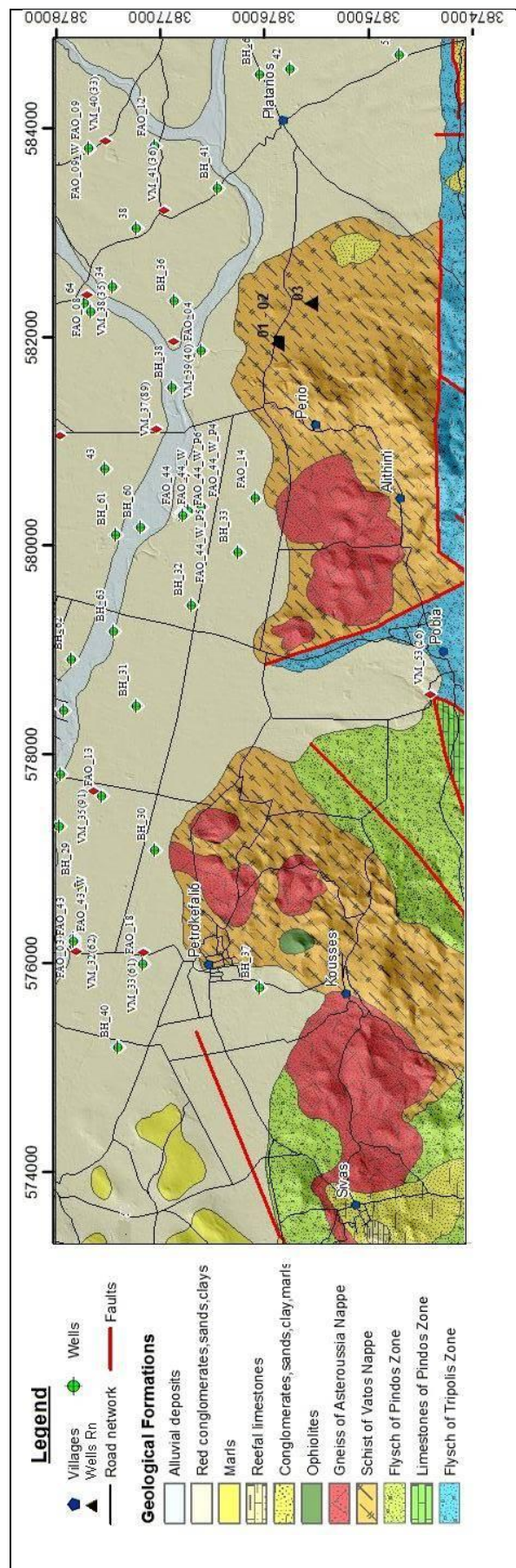
6.2.1 Παρουσίαση μετρήσεων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώσεων ραδονίου σε υδάτινα δείγματα, τα οποία προήλθαν από γεωτρήσεις στην περιοχή ανάμεσα στους οικισμούς Πέρι και Αληθινή παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (6.2). Επιπλέον, λήφθηκαν μετρήσεις θερμοκρασιών και τιμών pH των υδάτων. Ενώ η εικόνα 6.29 παρουσιάζει και τις θέσεις των γεωτρήσεων στο γεωλογικό χάρτη.

Πίνακας 6.2 Μετρηθείσες τιμές σε υδάτινα δείγματα γεωτρήσεων

Γεώτρηση	Συγκέντρωση (Bq/m ³)	Calculated * (Bq/m ³)	Θερμοκρασία (°C)	pH	Βάθος γεώτρησης (m)	Παρατηρήσεις
01	3044	3057	26.6 – 25.3	7.28	230	στάθμη 62m
02	4935	4957	20.5	7.38	205	στάθμη 20m
03	5146	5168	28.9	7.1	280	οσμή H ₂ S

*Η διόρθωση έγινε τη χρήση του λογισμικού Radon in Water Calculation της εταιρίας SARATD με θερμοκρασία περιβάλλοντος και νερών 19 °C. Ο όγκος νερού ήταν 500ml και ο όγκος αέρα 370 ml. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περιοχή είναι 20,2 °C [4].



Εικόνα 6.29 Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης με τις υδρογεωτρήσεις όπου μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις ραδονίου

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα συμπεράσματα που αναπτύσσονται στο παρόν κεφάλαιο προέκυψαν από την επεξεργασία δεδομένων έτσι όπως αυτά εξήχθησαν από τα φύλλα σαραντατεσάρων (44) γεωτρήσεων και ένδεκα (11) βυθοσκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια προγράμματος του οργανισμού Τροφών και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) το οποίο πραγματοποιήθηκε στο τέλος του 1969 και το 1972 στην περιοχή Πόμπιας του νομού Ηρακλείου.

Επιπρόσθετα συμπεράσματα εξήχθησαν από την αξιολόγηση δεδομένων τα οποία προέκυψαν από μετρήσεις συγκέντρωσης ραδιενέργειας από το ραδόνιο σε δείγματα νερού υδρογεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

Η ερμηνεία των χαρτών, που αποτυπώνουν τις ισοβαθείς της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών και της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου, βοήθησε στον προταρχικό καθορισμό πιθανών ρηγμάτων. Τα πιθανά ρήγματα, στην παρουσία των οποίων οφείλεται η ανύψωση και η ταπείνωση των σχηματισμών του Νεογενούς και του υποβάθρου, έχουν κύριες διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ στο υπόβαθρο και ΒΑ-ΝΔ στο Νεογενές. Κατά συνέπεια τα πιθανά αυτά ρήγματα, ακολουθούν τις γενικές διευθύνσεις των ρηγμάτων ΒΒΑ-ΝΝΔ και ΒΔ – ΝΑ που έχουν εντοπιστεί στην περιοχή της δυτικής Μεσσαράς (ten Veen et al., 1998; Peterek et al., 2004; Βασιλάκης, 2006 κ.ά.). Επιπρόσθετα, παρόμοιες διευθύνσεις ρηξιγενών ζωνών έχουν εντοπιστεί και στο ανατολικό και νότιο – ανατολικό περιθώριο της λεκάνης της Μεσσαράς, τόσο στην εργασία του Βασιλάκη, 2006 όπου αναφέρεται η δράση συστήματος δομών συζυγών διευθύνσεων ΒΑ – ΝΔ και ΒΔ - ΝΑ , όσο και στη διπλωματική εργασία του Κίτσα, 2013 όπου εντοπίστηκαν πιθανά ρήγματα με τις ίδιες διευθύνσεις.

Επίσης, αρκετά από τα πιθανά ρήγματα τα οποία εντοπίστηκαν στο υπόβαθρο διαφαίνεται να συνεχίζουν τη δράση τους και κατά το Νεογενές. Από τα δύο ροδογράμματα διακρίνουμε ότι η κύρια διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ των ρηγμάτων της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών αποθέσεων είναι παρόμοια με τη διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ ρηγμάτων της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου και η κύρια διεύθυνση ΔΒΔ - ΑΝΑ των ρηγμάτων της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου είναι παρόμοια με τη διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ ρηγμάτων της ανώτερης επιφάνειας του Νεογενούς. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι τα ρήγματα με αυτές τις διευθύνσεις έχουν δράσει τόσο στο προ – Νεογενές όσο και στο Νεογενές. Ταυτόχρονα, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα

πως σ' αυτές τις περιοχές η απότομη αλλαγή βάθους οφείλεται στη δράση αυτών των ρηγμάτων και όχι στη μορφολογία του παλαιοαναγλύφου του υποβάθρου.

Το λιθολογικό μοντέλο που κατασκευάστηκε, είναι σύμφωνο με στρωματογραφία της περιοχής έτσι όπως αυτή περιγράφεται βιβλιογραφικά (Peterek et al., 2004; ten Veen et al., 2003,1999; Κριτσωτάκης, 1999).

Οι τιμές συγκέντρωσης ραδιενέργειας από το ραδόνιο που μετρήθηκαν, εμφανίζονται σχετικά χαμηλές, γεγονός που ερμηνεύεται, με την περιορισμένη περιεκτικότητα σε ραδιενεργό υλικό, η οποία χαρακτηρίζει τα πετρώματα του υποβάθρου της περιοχής μελέτης (Σχιστόλιθοι Βάτου, Φλύσχης Εθιάς, σχηματισμοί ζωνών Πίνδου, Τρίπολης, ομάδα Πλακωδών ασβεστολίθων). Ταυτόχρονα οι τιμές που λήφθηκαν είναι συγκρίσιμες με τις τιμές συγκεντρώσεων ραδονίου από δείγματα νερού υδρογεωτρήσεων και πηγών, σε περιοχές ανάλογων λιθολογικών σχηματισμών της δυτικής Πελοποννήσου (Στρατικόπουλος, 2007).

Οι τιμές θερμοκρασίας που έχουν ληφθεί στα δείγματα νερού υδρογεωτρήσεων επιβεβαιώνουν την παρουσία θερμών νερών στην περιοχή, όπως αυτή είχε διατυπωθεί αρχικά από μαρτυρίες γεωλόγων. Οι τιμές της θερμοκρασίας των νερών που λήφθηκαν από τις γεωτρήσεις είναι πρόδηλες ενός πιθανού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας που φαίνεται να αναπτύσσεται στην περιοχή. Δύο από τα τρία δείγματα που λήφθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 19 °C, είχαν θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 25°C. Η θερμοκρασία της τάξης των 20,5°C που μετρήθηκε στο τρίτο δείγμα, ερμηνεύεται λαμβάνοντας υπόψη τη ρηχή στάθμη υδροφορίας που έχει ως αποτέλεσμα την άμεση επιρροή της θερμοκρασίας του νερού από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Συμπεραίνοντας από τα παραπάνω, η περιοχή μελέτης διαφαίνεται να παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά ενός πεδίου χαμηλής ενθαλπίας έτσι όπως αυτό περιγράφεται βιβλιογραφικά (Φυτίκας et al., 2004).

Καταλήγοντας, προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση στις περιοχές όπου εντοπίστηκαν τα πιθανά ρήγματα με την εκπόνηση τεκτονικής μελέτης και τη πραγματοποίηση γεωφυσικής διασκόπησης, έτσι ώστε να εντοπιστεί με ακρίβεια η χωρική τοποθέτηση τεκτονικών ρηξιγενών δομών καθώς και συστηματική υδρογεωλογική και υδρογεωχημική μελέτη της περιοχής των υφιστάμενων γεωτρήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενογλώσση

1. Aksoy, N., Serpen, U., Filiz, S., 2008, Management of the Balcova – Narlıdeve geothermal reservoir, Turkey, *Geothermics*, vol. 37, pp. 444 – 466
2. Al-Azmi, D., Snopek, B., Sayed, A.M., Domanski, T., 2004 , A simple bubbling system for measuring radon (^{222}Rn) gas concentrations in water samples based on the high solubility of radon in olive oil, *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 71, pp. 175-186.
3. Amin, Y.M., Mahat, S.J., 1995, The effect of grain size on the radon emanation rate, *Applied Radiation & Isotopes*, Vol.46, pp. 621-622
4. Baixeras, C., Climent, H., Font, L.L., Bacmeister, G.U., Albarracin, D., Monnin, M.M., 1997, Using SSNTDs in soil and indoors in two Mediterranean locations for radon concentration measurements, *Radiation Measurements*, Vol. 28, pp. 713-716.
5. Bartucz, D., 2009, Exploration of Geothermal Systems with Petrel Modeling Software, Master Thesis, School for Renewable Energy Science in affiliation with University of Iceland and University of Akureyri.
6. Becker, K., 2002, Residential radon and the LNT hypothesis, *International Congress Series*, Vol.1225, pp.259-266.
7. Bidakis, M., Meulenkamp, J.E, Jonkers, H.A., 1994, Geological map of Greece, 1:50.000, Epano Archanae sheet, Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
8. Bochicchio, F., McLaughlin, J.P., Piermattei, S., 1995, Radon in indoor air, European Commission, Report EUR 16123EN
9. Bonneau, M., Meulenkamp, J.E, Jonkers, H.A., 1984, Geological map of Greece, 1:50.000, Tympakion sheet, Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
10. Calcagno, P., Bouchot, V., Thinon, I., Bourguin, B., 2012, A new 3D fault model of the Bouillante geothermal province combining onshore and offshore structural knowledge (French West Indies), *Tectonophysics*, vol.526 – 529, pp. 185 – 195
11. Cella, F., Fedi, M., Florio, G., Grimaldi, M., Rapolla, A., 2007, Shallow structure of the Somma – Vesuvius volcano from 3D inversion of gravity data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 161, pp. 303 – 317
12. Chatzaras, V., Xypolias, P., Doutsos, T., 2006, Exhumation of high-pressure rocks under continuous compression: a working hypothesis for the southern Hellenides (central Crete, Greece), *Geological Magazine*, vol.143, pp. 859-877.

13. Chatzigiannis G., Kavouridis Th., 2013, The geothermal occurrence of Kapistri Ierapetra area, Crete, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XLVII, Proceedings of the 13th International Congress, Chania (Υπό εκτύπωση)
14. Chatziyannis, G.,E., 2007, Update of geothermal situation in Greece, Proceeding European Geothermal Congress, Unterhaching Germany.
15. Cinga, A., 2005, Radon in Caves, International Journal of Speleology, Vol.34, pp.1-18.
16. Creutzburg, N., 1977, Geological map of Crete Island, Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
17. Durrani, S.A., Ilic, R., 1997, Radon measurements by etched track detectors, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, 1st Edition.
18. Dyck, W., 1968, Radon-222 emanations from a uranium deposit, Economical Geology, Vol.63, pp. 288-291.
19. El-Hussein, A., Ahmed, A.A., Mohammed, A., 1998, Radiation dose to the human respiratory tract from inhalation of radon-222 and its progeny, Applied Radiation & Isotopes, Vol. 49, pp. 783-790.
20. FAO 1969, Greece: geophysical survey performed in Messara plain (Eastern Crete), Final report. Fondazione Ing. C. M. Lerici Del Politecnico, Milan, Italy.
21. FAO 1972, Study of the water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete – Greece, Drillings and pumping tests in Messara AGL:SF/GRE 17/31 tech. rep. 26, UNDP, Iraklio.
22. Fassoulas, C., 1999, The structural evolution of central Crete: insight into the tectonic evolution of the south Aegean (Greece), Geodynamics, vol.27, pp. 23–43
23. Faulds, J., Moeck, I., Drakos, P., Zemach, E., 2010, Structural assessment and 3D geological modeling of the Brady's Geothermal area, Churchill Country (Nevada, USA): A preliminary report, 37^o Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Proceedings, p. 188, California
24. Fournadzieva, S., Bojadgiera, K., Fytikas, M., Poporski, K., 2002, A Conception of a Geothermal Application in Common Microlalgal Development in the Balkan Countries. Proc. Of Int. Course on District Heating, Agricultural and Agro-industrial Uses of Geothermal Energy, Proceeding p.p. 152 – 159, Thessaloniki.
25. Fujiyosh, R., Sakamoto, K., Imanishi, T., Sumiyoshi, T., Sawamura, S., Vanpotic, J., Kobal I., 2006, Meteorological parameters concentrations in soil gas at a site in Sapporo Japan, Science of the Total Environment, Vol.370, pp. 224-234.

26. Gates, T.M., McEldowney, R.C., 1977, Uranium exploration method may help find gas and oil, *World Oil*, Vol.184, pp.55-57.
27. Geranios, A., Nikolopoulos, D., Louizi, A., Karatzi, A., 2004, Multiple radon survey in spa of Loutra Edipsou (Greece), *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 122, pp. 251 - 258
28. Ghosh, D., Deb, A., Sengupta, R., Patra, K.K., Bera, S., 2007, Pronounced soil – radon anomaly – Precursor of recent earthquakes in India, *Radiation Measurements*, Vol. 42, pp. 466-471.
29. Gillmore, G., Sperrin, M., Phillips, P., Denman, A., 2000, Radon hazards, geology, and exposure of cave users: A case study and some theoretical perspectives, *Ecotoxicology and environment safety- Environmental research, section B*, Vol. 46, pp. 279-288.
30. Godoy, M., Hadler, J.C., Iunes, P.J., Mestanza, M., Oliveira R.A., Osorio A.M., Paulo S.R., 2002, Effects of environmental conditions on the radon daughters spatial distribution, *Radiation Measurements*, Vol.35, pp.213-221.
31. Gomez Escobar, V., Vera Tome, F., Lozano, J.C., 1999, Procedures for the determination of ^{222}Rn exhalation and effective ^{226}Ra activity in soil samples, *Applied Radiation & Isotopes*, Vol.50; pp. 1039-1047.
32. Ioannides, K.G., Papachristodoulou, C.A., Karamanis, D.T., Stamoulis K.C., Mertzimekis T.J., Pavlides, S.V., Xatzipetros, A., Zouros, N., 1996, Investigation on the relation of active geological faults and radon emanation, *Proceedings of the conference on radon in dwellings in Greece*, GAEC, Athens.
33. Jeffrey, W.C., Keith, B., 1982, Collection of radon decay products – A Uranium exploration technique, *Geochemical Exploration*, Vol.17, pp.63-76.
34. Jirakova, H., Prochazka, M., Dedeczek, P., Korb, M., Hrkal, Z., Huneau, F., Coustumer, P., 2011, Geothermal assessments of the deep aquifers of the northwestern part of the Bohemian Cretaceous basin, Czech Republic, *Geothermics*, vol. 40, pp. 112 – 124
35. Jolivet, L., Goffe, B., Monie, P., Truffert-Luxey, C., Patriat, M., Bonneau, M. 1996. Miocene detachment in Crete and exhumation P–T–t paths of high-pressure metamorphic rocks. *Tectonics*, 15, 1129–1153
36. Karahan, G., Ozturk, N., Bayulken, A., 2000, Natural radioactivity in various surface waters in Istanbul Turkey, *Water Research*, Vol.34, pp.4367-4370.
37. Kendall, G.M., Smith, T.J., 2002, Doses to organs and tissues from radon and its decay products, *Journal of Radiological Protection*, Vol.22, pp. 389-406.

38. Kiliyas, A. A., Tranos, M. N., Oroxco, M., Alonsochaves, F. M and Soto, J. I., 2002, Extensional collapse of the Hellenides: a review. *Revista de la Sociedad Geologica de Espania*, Vol.15, pp.129-139.
39. Kiliyas, A., Fassoulas, C., Mountrakis, D., 1994, Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic Arc (Crete Greece), *Geology. Rundschau*, Vol. 83, pp. 417–430.
40. Kitto, M.E., 2005, Interrelationship of indoor radon concentrations soil-gas flux and meteorological parameters, *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 264, pp. 381-385.
41. Klein, T., Craddock, J. P., Zulauf, G., 2012, Constraints on the geodynamical evolution of Crete: insights from illite crystallinity, Raman spectroscopy and calcite twinning above and below the „Cretan detachment“, *International Journal of Earth Sciences*, vol.102, pp.139-182.
42. Kohl, T., Andeumatten, N., Rybach, L., 2003, Geothermal resource mapping example from northern Switzerland, *Geothermics*, vol. 32, pp. 721 – 732
43. Kokinou, E., Alves, T., Kamberis E., 2012, Structural decoupling in a convergent forearc setting (southern Crete, Eastern Mediterranean), *Geological Society of America Bulletin*, vol.124, pp.1352-1364.
44. Kolios, N., Fytikas, M., Arvanitis, A., Andritsos, N., Koutsinos, S., 2007, Prospective medium enthalpy geothermal resources in sentimental basin of northern Greece, *Proceedings European Geothermal Congress*, Unterhaching Germany.
45. Kopp, K. O., Ott, E., 1977, Spezialkartierungen im Umkreis neuer Fossilfunde in Tripali und Tripolitzakalken Westkretas, *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, vol. 4, pp. 217- 238.
46. Kritidis, P., Angelou, P., 1986, Concentrations of ²²²Rn and its short – lived decay at a number of Greek radon spas, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. 17, pp. 537 – 539
47. Lister, G.S., Banga, G., Feenstra, A., 1984, Metamorphic core complexes of cordilleran type in the Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Geology*, Vol.12, pp.221–225
48. McClusky, S., Balassania, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Ham-burger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, L., Kekelidze, G., King, R. W., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Taeleb, A., Toksoz, M. N., Veis, G., 2000, GPS constraints on plate motions and deformation in the

- Eastern Mediterranean: Implications for plate dynamics, *Geophysical Research*, Vol.105, pp.5695–5719
49. Meulenkamp, J. E., van der Zwaan, G. L., van Wamel, W. A., 1994, On late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic Arc, *Tectonophysics*, vol. 234, pp.53-72.
 50. Meulenkamp, J.E., 1979, Field Guide to the Neogene of Crete. In: Symeonidis, N., Papanikolaou, D., Dermitzakis M. (Eds.), *Field Guide to the Neogene of Crete*. Publ. Dept. Geol. Paleont. Univ. Athens Series A, vol. 32, pp. 1–32
 51. Meulenkamp, J.E., Jonkers, A., Spaak, P., 1977, Late Miocene to Early Pliocene development of Crete Proceed, Part VI. *Colloq. Geol. Aegean Region Athens* vol.1, pp.137–149.
 52. Monnin, M.M., Seidel, J.L., 1997, Physical models related to radon emission in connection with dynamic manifestations in the upper terrestrial crust: A review, *Radiation Measurements*, Vol.28, pp. 703-712.
 53. Mountrakis, D., Tranos, M., Papazachos, C., Thomaidou, E., Karagianni, e. & Vamvakaris, D., 2006, Neotectonic and seismological data concerning major active faults, and the stress re-gimes of Northern Greece. In: ROBERTSON, m. n. F. & MOUNTRAKIS, D. (eds) *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region*. Geological Society, London, Special Publications, Vol, 260, pp. 649-670.
 54. Nazaroff W. W., Moed B.A., Sextro R.G., 1988a, Soil as a source of indoor radon: generation, migration, and entry, in: *Radon and its decay products in indoor air*, eds. Nazaroff W. W. and Nero A. V., John Wiley & Sons, pp. 57-112.
 55. Nazaroff, W. W., Doyle, S. M., Nero, A. V., Sextro, R. G., 1988b, Radon entry via portable water, in: *Radon and its decay products in indoor air*, eds. Nazaroff W. W. and Nero A. V., John Wiley & Sons, pp. 131-157
 56. Nero A. V., 1988, Radon and its decay products in indoor air: an overview, in: *Radon and its decay products in indoor air*, eds. Nazaroff W. W. and Nero A. V., John Wiley & Sons, pp. 1-53.
 57. Nikezic, D., Yu, K. N., 1998, The influence of thoron and its progeny on radon measurement with CR-39 detectors in diffusion chambers, *Nuclear Instruments and Methods*, vol.419, pp. 175-180
 58. Nikolopoulos, D., Louizi, A., 2008, Study of indoor radon and radon in drinkingwater in Greece and Cyprus: Implications to exposure and dose, *Radiation Measurements*, vol.43, pp.1305 – 1314

59. Nikolopoulos, D., Vogianis, E., Petraki, E., Zisos, A., Louizi, A., 2010, Investigation of the exposure to radon and progeny in the thermal spas of Loutraki (Attica-Greece): Results from measurements and modelling, *Science of the Total Environment*, vol.408, pp.495–504
60. Oral, M. B., Reilinger, R. E., Toksoz, M. N., Kong, R. W., Barka, A. A., Kinik, I. & Kenk, O., 1995, Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *EOS Transactions. American Geophysical Union*, vol.76, pp.9-11.
61. Panagopoulos, G., Giannakakos, E., Manoutsoglou, E., Steiakakis, E., Vafidis, A., 2013, Definition of inferred faults using 3D geological modeling techniques: A case study in Tybaki basin in Crete, Greece, *Proceedings, 13th International Congress of Geological Society of Greece, Chania (Υπό εκτύπωση)*
62. Papanikolaou, D., Vassilakis, E., 2010, Thrust faults and extensional detachment faults in Cretan tectono-stratigraphy: Implications for Middle Miocene extension, *Tectonophysics*, vol.488, pp.233-247.
63. Papazachos, C.B., 1999, Seismological and GPS evidence for the Aegean-Anatolia interaction, *Geophysical Research Letters*, 26, 17, pp.2653-2656
64. Peterek, A., Schwarze, J., 2004, Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece), *Journal of Geodynamics*, vol.38, pp.19-55
65. Pizzino, L., Quattrocchi, F., Cinti, D., Galli, G., 2004, Fluid geochemistry along the Eliki and Aigion seismogenic segments (Gulf of Corinth, Greece), 2004, *Geosciences*, vol. 336, pp. 367 -374
66. Planinic, J., Radolic, V., Lazanin, Z., 2001, Temporal variations of radon in soil related to earthquakes, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 55, pp. 267-272.
67. Raymond, J., Therrien, R., 2008, Low – temperature geothermal potential of flooded Graspe Mines, Quebec, Canada, *Geothermics*, vol. 37, pp. 189 – 210
68. Reilinger, R., et al., 1997, Global Positioning System measurements of present-day crustal move-ments in the Arabia–Africa–Eurasia plate collision zone. *J. Geophysical Research*, vol.102, pp.9983–9999.
69. Represas, P., Santos, F.A., Ribeiro, J., Almeida, E., Goncalves, R., Moreira, M., Victor, L.A., 2013, Interpretation of gravity data to delineate structural features connected to low – temperature geothermal resources at Northeastern Portugal, *Journal of Applied Geophysics*, vol. 92, pp.30 – 38

70. Ring, U., Glodny, J., Will, T., Thomson, S., 2010, The Hellenic Subduction System: High-Pressure Metamorphism, Exhumation, Normal Faulting, and Large-Scale Extension. DOI:10.1146/annurev.earth.050708.170910 pp.45-76.
71. Sannemann, W., Seidel, E., 1976, Die Trias-Schichten von Rawducha/NW Kreta. Ihre Stellung im kretischen Deckenbau, N. Jb. Geol. Paläont. Mh., pp. 221-228, Stuttgart
72. Santos, F., Alfonso, A., Victor, L., 1997, Study of the Chaves geothermal field using 3D resistivity modeling, Journal of Applied Geophysics, vol. 37, pp. 85 – 102
73. Savidou, A., Sideris, G., Zouridakis, N., 2001, Radon in public water supplies in Migdonia basin central Macedonia, northern Greece, Health Physics, vol.80, pp.170 – 174
74. Schwartz, M.C., 2003, Significant groundwater input to a coastal plain estuary: assessment from excess radon, Estuarine Coastal and Shelf Science, Vol.56, pp.31-42.
75. Segovia, N., Mena, M., Monnin, M., Pena, P., Seidel, J.L., Tamez, E., 1997b, Radon in soil variations related to volcanic activity, Radiation Measurements, Vol.28, pp.745-750.
76. Segovia, N., Tamez, E., Pena, P., Carrillo, J., Acosta, E., Armienta, M.A., Iturbe, J.L., 1999, Groundwater flow system in the valley of Toluca, Mexico : an assay of natural radionuclide specific activities, Applied Radiation & Isotopes, Vol.50, pp. 589-598.
77. Seidel, E., Kreuzer, H., Harre, W. 1982. A Late Oligocene/Early Miocene High Pressure Belt in the External Hellenides. Geol. Jb., E 23, pp.165–206.
78. Spichak, V., Manzella, A., 2009, Electromagnetic sounding of geothermal zones, Journal of Applied Geophysics, vol. 68, pp. 459 – 478
79. Steinitz, G., Begin, Z.B., Gazit-Yaari, N., 2003, A statistically significant relation between Rn flux and weak earthquakes in the Dead Sea Rift Valley, Geology, Vol. 31, pp. 505-508.
80. Sun H., Furbish D.J., 1995, Moisture content effect on radon emanation in porous media; Journal of Contaminant Hydrology, Vol.18, pp. 239-255
81. Sun, H., Semkow, T.M., 1998, Mobilization of thorium, radium and radon radionuclides in ground water by successive alpharecoils, Journal of Hydrology, Vol. 205, pp.126-136.
82. ten Veen, J.H., Kleinspehn, K.L., 2003, Discussion on incipient continental collision and plate-boundary curvature: Late Pliocene-Holocene transtensional Hellenic forearc, Crete, Greece–Reply. J. Geol. Soc. London, vol.160, pp.1–6

83. ten Veen, J.H., Kleinspehn, K.L., 2003a, Incipient continental collision and plate-boundary curvature: Late Pliocene–Holocene transtensional Hellenic forearc, Crete, Greece. *J. Geol. Soc. London*, vol.160, pp.161–181
84. ten Veen, J.H., Meijer, P.Th., 1998, Late Miocene to recent tectonic evolution of Crete (Greece): geological observations and model analysis, *Tectonophysics*, vol. 298, pp.191–208
85. ten Veen, J.H., Postma, G., 1999a, Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete Greece), *Basin Research*, vol.11, pp. 223–241
86. Tortorici, L., Caputo, R., Monaco, C., 2010, Late Neogene to Quaternary contractional structures in Crete (Greece), *Tectonophysics*, Vol.483, pp. 203-213
87. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000, Sources and effects of ionizing radiation, Vol. I: Sources, United Nations Publications, New York. Available at: <http://www.unscear.org/>
88. United States Environmental Protection Agency, 1992, Indoor Radon and Decay product Measurement Device Protocols, Publications and Resources. Available at: <http://www.epa.gov>
89. Vasarhelyi A., Csige I., Hakl J., Hunyadi I, 1997, Spatial distribution of radon content of soil-gas and well-waters measured with etched track radon monitors, *Radiation Measurements*, Vol.28, No. 1-6, pp. 685-690.
90. Villalobos-Pietrini R., et al., 1999, Genetic effects observed in tetrads of *Tradescantia* induced by radon, *Mutation research*, Vol. 426, pp. 215-219.
91. Vogianis, E., Nikolopoulos, D., Louizi, A., Halvadakis, C.P., 2004, Radon exposure in the thermal spas of Lesbos Island – Greece, *Radiation Protection Dosimetry*, vol.111, pp.121-127
92. Wan, Z., Zhao, Y., Kang, J., 2005, Forecast and evaluation of hot dry rock geothermal resource in China, *Renewable Energy*, vol. 30, pp. 1831 - 1846
93. Whitehead, N.E., Gingrich, J.E., Fisher, J.C., 1983, A New Zealand test of the Track – etch method of prospecting for geothermal steam, *Volcanology and Geothermal Research*, Vol.15, pp. 339-354.
94. Wilkening, M., 1990, *Radon in the environment*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1st edition.
95. Young, H., 1994, *University Physics extended version with modern physics*, Eighth Edition, εκδόσεις Παπαζήση.

96. Zouridakis, N., Ochsenkuhn, K.M., Savidou, A., 2002, Determination of uranium and radon in potable water samples, Environmental Radioactivity, vol. 61, pp. 225 – 232
97. Zummermann, G., Moeck, I., Blocher, G., 2010, Cyclic waterfrac stimulation to develop an Enhanced Geothermal System (EGS) – Conceptual design and experimental results, Geothermics, vol. 39, pp. 59 – 69

Ελληνική

1. Βασιλάκης, Ε., 2006, Μελέτη της Τεκτονικής Δομής της Λεκάνης Μεσσαράς, Κεντρικής Κρήτης με τη Βοήθεια Τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
2. Βογιάννης, Ε., 2005, Το ραδόνιο στα Ιαματικά λουτρά, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
3. Γαλετάκης, Μ., 2009, Σημειώσεις του μαθήματος Σχεδίαση εκμεταλλεύσεων ορυκτών πόρων με H/Y, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. Καπαγερίσσης, Ι., 2006, Εισαγωγή στη Γεωστατιστική, Ίων, Αθήνα.
5. Καρυδάκης, Γ., 2005, Γεωθερμική ενέργεια, εκδόσεις Αθλότυπο, Αθήνα.
6. Κασινάλης, Χ., 2008, Μέθοδος in situ μέτρησης ραδονίου στο νερό - Αξιολόγηση της Μεθόδου και εφαρμογή της στη μέτρηση ραδονίου σε πηγή μεταλλικού νερού, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
7. Κίσσας, Β., 2013, Ανίχνευση πιθανών ρημάτων με τη χρήση τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
8. Κρινής Π., 2009, Εφαρμογή μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής σε λεκάνες του ελληνικού χώρου. (Λεκάνη Μεσσαράς του νομού Ηρακλείου, νότια Κρήτη) , Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
9. Κριτσιωτάκης Μ., 2009, Διαχείριση Υδατικών Πόρων Μεσσαράς Κρήτης, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
10. Μανούτσογλου, Ε., Σπυρίδωνος, Ε., Soujon A., Jacobshagen, V. 2001. Αναθεώρηση του γεωλογικού χάρτη και τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής του φαλαγγίου της Σαμαριάς, Δ. Κρήτη, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXXIV/1, σελ. 29-36, Αθήνα.

11. Μενδρινός, Δ., Καρύτσας, Κ., 2010, Αναζητώντας γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα για ηλεκτροπαραγωγή και τηλεθέρμανση, 4^η εβδομάδα ενέργειας IENE, Επιχειρηματική Συνάντηση Ενέργεια B2B, Αθήνα.
12. Μουντράκης Δ., 1985, Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
13. Νικολάου, Σ., 1994, Έκθεση: Αποτελέσματα Αναγνωριστικής Γεωηλεκτρικής Έρευνας στην περιοχή νότια του Ψηλορίτη, Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, Διεύθυνση Γεωφυσικών ερευνών.
14. Νικολόπουλος, Δ., Πετρόπουλος, Ν., Ποτηριάδης, Κ., 1997, Μελέτη Σκοπιμότητας για τη διεξαγωγή εθνικής επισκόπησης ραδονίου στην Ελλάδα, Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Αθήνα.
15. Παναγόπουλος, Γ., 2007, Προτάσεις γεωτρητικού προγράμματος σε ενεργό λατομικό χώρο με χρήση χωρικών γεωλογικών στοιχείων, Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
16. Παπαγεωργάκης, Ι., 1992, Θέρμανση – Ψύξη κτιρίων με αβαθή γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα, 4^ο Εθνικό συνέδριο για τις Ήπιες μορφές ενέργειας, Πρακτικά Τόμος Β, σελ. 250-263, Ξάνθη.
17. Παπαχρήστου, Μ., Ανδρίτσος, Ν., Βουδούρης, Κ., Φυτίκας, Μ., 2009, Γεωθερμική Ενέργεια της Ελλάδας – Υφιστάμενη Κατάσταση και Προοπτικές, Πανελλήνιο Συνέδριο Κλιματική Αλλαγή Βιώσιμη Ανάπτυξη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πρακτικά σελ. 598-605, Θεσσαλονίκη.
18. Πατήρης, Δ., 2009, Μελέτη συμπεριφοράς των θυγατρικών ραδιοϊσοτόπων του ραδονίου στον ατμοσφαιρικό αέρα, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
19. Πούλιος, Κ., 2003, Ραδόνιο και Θορόνιο, Υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας, τεύχος 14, σελ., 17 – 18.
20. Σεφτέλης, Ι., 2007, Μεταβολές της συγκέντρωσης του ραδονίου και των θυγατρικών του στον υπαίθριο επιφανειακό αέρα, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη.
21. Στούλος, Σ., 1998, Το ραδόνιο στις κατοικίες σαν συνάρτηση της ραδιενέργειας των οικοδομικών υλικών και άλλων φυσικών παραμέτρων, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
22. Στρατικόπουλος, Κ., 2007, Υδρογεωλογική και υδροχημική μελέτη των θερμομεταλλικών πηγών της δυτικής Πελοποννήσου με τη χρήση σταθερών ισοτόπων, Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

23. Τσελεπίδου, Κ., 2008, Βελτιστοποίηση Διαχείρισης Γεωθερμικών και Υπόγειων Υδατικών Πόρων, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
24. Φυτίκας, Μ., Ανδρύτσος, Ν., 2004, Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
25. Φυτρολάκης, Ν., 1980, Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα, Διατριβή επί υφηγεσία thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Διαδίκτυο

- [1] www.egec.gr (Προσπέλαση 18/5/2013)
- [2] <http://portal.igme.gr> (Προσπέλαση 1/4/2013)
- [3] www.ptable.com (Προσπέλαση 10/7/2013)
- [4] <http://www.hnms.gr> (Προσπέλαση 22/10/2013)

Το λογισμικό ανοίγει ένα νέο παράθυρο όπου ο χρήστης επιλέγει τη διαδρομή (path) του Project φακέλου και ορίζει το όνομά του. Επιλέγοντας OK ο φάκελος έχει δημιουργηθεί.

Π.3 Καθορισμός διαστάσεων περιοχής μελέτης- το πεδίο Project Dimensions

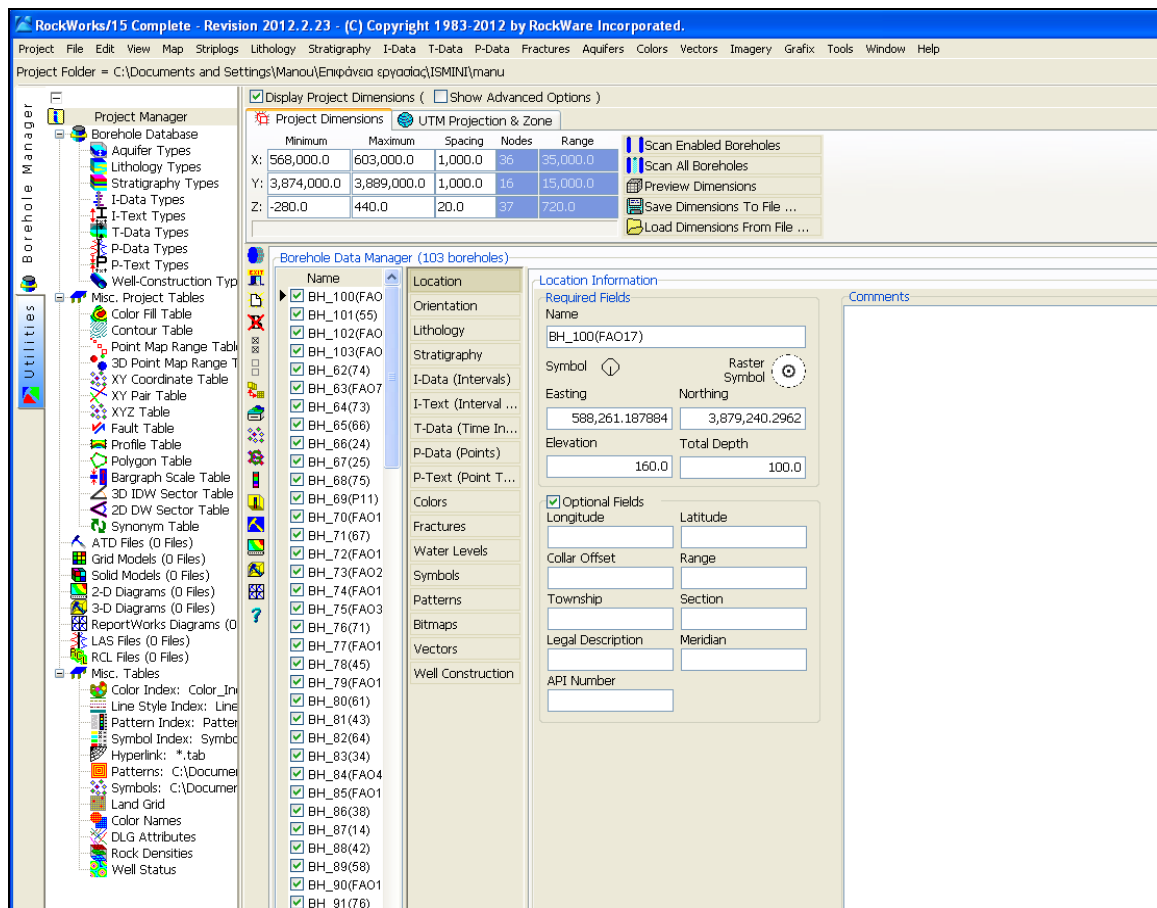
Στο κύριο παράθυρο επιλογών Borehole Manager υπάρχει το πεδίο Project Dimensions όπου γίνεται ο καθορισμός των διαστάσεων της περιοχής μελέτης. Στην παρούσα εργασία συμπληρώθηκαν με πληκτρολόγηση, τα όρια των διαστάσεων κατά τους άξονες X (Easting) Y (Northing) Z (Elevation). Αν το πεδίο Project Dimension συμπληρωθεί κατά την εισαγωγή των δεδομένων, δεν χρειάζεται να συμπληρώνεται εκ νέου σε όποια άλλη περίπτωση προταθεί από το λογισμικό.

	Minimum	Maximum	Spacing	Nodes	Range
X:	573,000.0	585,000.0	80.0	151	12,000.0
Y:	3,874,000.0	3,878,000.0	20.0	201	4,000.0
Z:	-220.0	240.0	4.0	116	460.0

Εικόνα Π.2 Το menu Project Dimensions στο Borehole Manager

Π.4 Η υποσελίδα Borehole Manager

Η υποσελίδα Borehole Manager παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων γεωτρήσεων ή πάσης φύσεως ομάδας πληροφοριών που σχετίζονται με το βάθος (π.χ. βυθοσκοπήσεις) . Η υποσελίδα χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο αριστερό μέρος βρίσκεται η λίστα των ονομάτων των γεωτρήσεων και παρέχεται δυνατότητα επιλογής – αποεπιλογής τους. Στο δεξί μέρος εμφανίζονται μια σειρά από διαφορετικές καρτέλες που αφορούν τις αντίστοιχες πληροφορίες κάθε γεώτρησης, που πατώντας πάνω σε αυτά ανοίγει κάθε φορά η αντίστοιχη καρτέλα ακριβώς δεξιά. Κάθε μια από αυτές της επιλογές αντιστοιχεί σε πεδία πληροφοριών για την εκάστοτε γεώτρηση το όνομα της οποίας εμφανίζεται στη δεξιά λίστα. Παρακάτω αναλύεται το περιβάλλον εργασίας κάθε τέτοιας καρτέλας:



Εικόνα Π.3 Η Υποσελίδα Borehole Manager

- **Locations:** Περιέχει πληροφορίες σχετικές με το όνομα, τις συντεταγμένες, το συνολικό βάθος, το υψόμετρο της κάθε γεώτρησης. Η συμπλήρωση αυτών είναι υποχρεωτική για κάθε γεώτρηση, ενώ υπάρχουν επιπλέον και μη υποχρεωτικά πεδία που μπορούν να συμπληρωθούν καθώς και ένα πεδίο για ελεύθερα σχόλια.

Location	Location Information		Comments
Orientation	Required Fields		
Lithology	Name BH_100(FAO17)		
Stratigraphy	Symbol 	Raster Symbol 	
I-Data (Intervals)	Easting 588,261.187884	Northing 3,879,240.2962	
I-Text (Interval ...)	Elevation 160.0	Total Depth 100.0	
T-Data (Time In...)	☒ Optional Fields		
P-Data (Points)	Longitude	Latitude	
P-Text (Point T...)	Collar Offset	Range	
Colors	Township	Section	
Fractures	Legal Description	Meridian	
Water Levels	API Number		
Symbols			
Patterns			
Bitmaps			
Vectors			
Well Construction			

Εικόνα Π.4 Η καρτέλα Location

- Orientation: Συμπληρώνεται ο προσανατολισμός της γεώτρησης, η κλίση καθώς και το βάθος.
- Lithology: Γίνεται η λιθολογική περιγραφή της κάθε γεώτρησης. Στο πεδίο Keyword περιγράφεται η λιθολογία ενός ορίζοντα που βρίσκεται σε συγκεκριμένο βάθος το οποίο προσδιορίζεται από τα πεδία Depth to Top και Depth to Base. Επίσης υπάρχει και ένα πεδίο για ελεύθερα σχόλια (εικόνα Π.14). Απαραίτητη προϋπόθεση για την εισαγωγή δεδομένων στην καρτέλα αυτή είναι ο καθορισμός του πίνακα λιθολογίας (Lithology Type Table) (εικόνα Π.15). Στον πίνακα αυτόν αναγράφονται όλοι οι λιθολογικοί τύποι που απαντώνται στην εκάστοτε μελέτη και αποδίδεται σε καθέναν από αυτόν τα χαρακτηριστικά γραφικής απεικόνισης του (Pattern, και Fill Percent), η πυκνότητα του και έναν αριθμό (G-value) που αποτελεί την «ταυτότητα» του εκάστοτε λιθολογικού τύπου και επομένως θα πρέπει να είναι μοναδικός.

Location	Import Export Spreadsheet Lithology Types Tab Manager			
Orientation				
Lithology	Depth to Top	Depth to Base	Keyword	Comment
Stratigraphy	0.0	4.0	clay	
I-Data (Intervals)	4.0	12.0	gravelly sand	
I-Text (Interval ...)	12.0	18.0	clay	
T-Data (Time In...)	18.0	20.0	gravelly sand	
P-Data (Points)	20.0	30.0	clay	
P-Text (Point T...	30.0	32.0	gravel	
Colors	32.0	34.0	gravelly clay	
Fractures	34.0	40.0	gravelly sand	
Water Levels	40.0	44.0	clay	
Symbols	44.0	100.0	marl	N
Patterns				
Bitmaps				
Vectors				
Well Construction				

Εικόνα Π.5 Η καρτέλα Lithology

Lithology Type Table						
File Edit						
Keyword	Pattern	Fill Percent	Density	G-Value	Show in Legend	
clay		25	1.0	1.0	☒	
clayey gravels		70	1.0	14.0	☒	
clayey marl		85	1.0	19.0	☒	
clayey sand		55	1.0	9.0	☒	
clayey silt		40	1.0	6.0	☒	
conglomerate		85	1.0	17.0	☒	
flysch		100	1.0	23.0	☒	
gravelly clay		25	1.0	4.0	☒	
gravelly marl		85	1.0	21.0	☒	
gravelly sand		55	1.0	11.0	☒	
gravelly silt		40	1.0	7.0	☒	
gravels		70	1.0	13.0	☒	
limestone		85	1.0	24.0	☒	
marl		85	1.0	18.0	☒	
marly limestone		85	1.0	22.0	☒	
sand		55	1.0	8.0	☒	
sandstone		85	1.0	12.0	☒	
sandy clay		25	1.0	3.0	☒	
sandy gravels		70	1.0	16.0	☒	
sandy marl		85	1.0	20.0	☒	
schist		100	1.0	25.0	☒	
silt		40	1.0	5.0	☒	
silty clay		25	1.0	2.0	☒	
silty gravels		70	1.0	15.0	☒	
silty sand		55	1.0	10.0	☒	

Εικόνα Π.6 Ο πίνακας λιθολογιών

- Stratigraphy: Η καρτέλα αυτή είναι παρόμοια με εκείνη του Lithology με τη διαφορά ότι δίνεται η στρωματογραφική περιγραφή κάθε γεώτρησης και όχι η λιθολογική. Ομοίως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατασκευή πίνακα (Lithology Table) με συγκεντρωμένες στρωματογραφικές ενότητες της περιοχής μελέτης.

Depth to Top	Depth to Base	Formation
0.0	20.0	Plio-Quaternary
20.0	40.0	Neogene
40.0	100.0	Basement

Εικόνα Π.7 Η καρτέλα Stratigraphy

- I-data (Intervals): Τιμές μιας ιδιότητας (π.χ. ηλεκτρικές αντιστάσεις) που αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένα διαστήματα (Intervals) της γεώτρησης.
- I-text (Interval Text): Πληροφορίες για το κάθε διάστημα της γεώτρησης.
- P-data (Points): Τιμές (π.χ. διαγραφίες γεώτρησης – well logging) που αντιστοιχούν σε σημεία της γεώτρησης.
- T-data (Time Intervals): Καταχώρηση του χρόνου συσχετιζόμενη με τα I-data.
- Fractures: Στοιχεία προσανατολισμού ρηγμάτων.
- Aquifers: Στοιχεία για τους υδροφόρους της περιοχής μελέτης
- Symbols, Patterns, Colors, Bitmaps: Ρυθμίσεις αναπαράστασης των γεωτρήσεων.
- Vector: Τα βάθη, η κατεύθυνση, το αζιμούθιο, την κλίση, το χρώμα και το μέγεθος διανυσμάτων.

- Well Construction: Καταχώρηση των εσωτερικών και εξωτερικών διαμέτρων, των αντισταθμίσεων, των υλικών κατασκευής καθώς επίσης και επεξηγηματικών κειμένων για τις εξερχόμενες εικόνες.

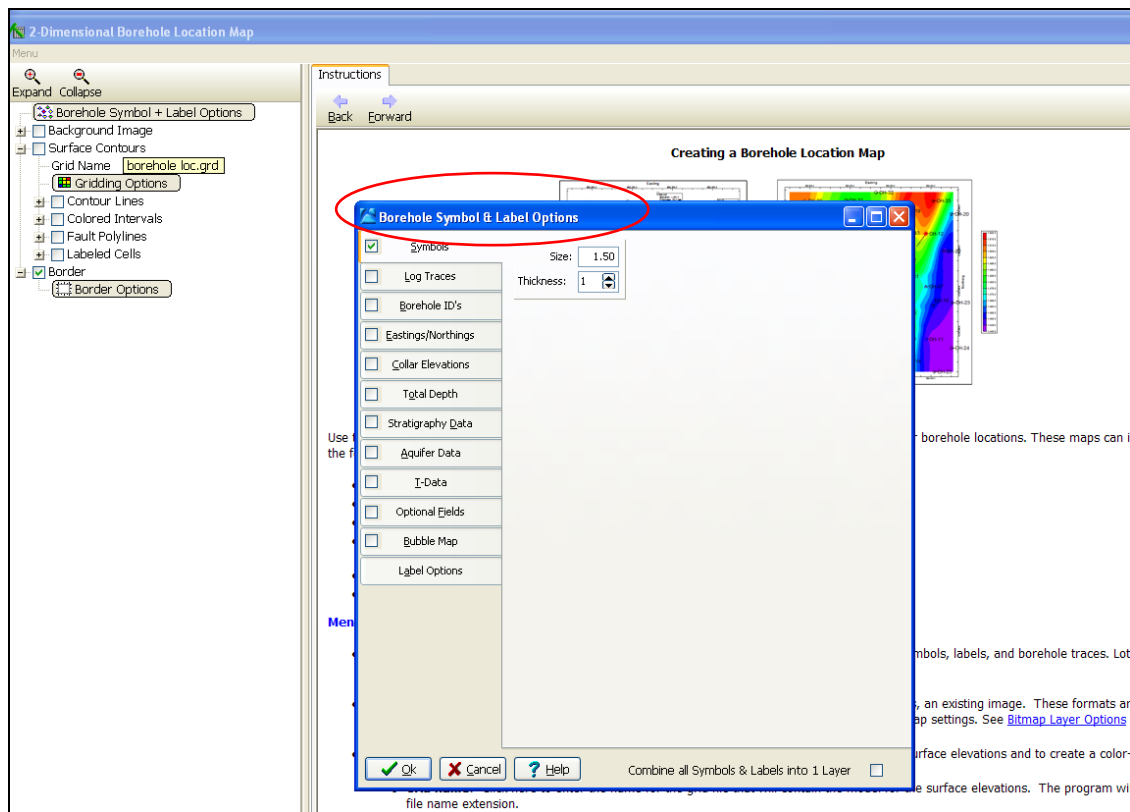
Αξίζει να σημειωθεί ότι από τις παραπάνω καρτέλες υποχρεωτική είναι μόνο η Location. Η συμπλήρωση των υπολοίπων εξαρτάται από τον χρήστη, τα δεδομένα τα οποία διαθέτει και τα αποτελέσματα τα οποία επιθυμεί να πάρει από το λογισμικό. Επίσης, η συμπλήρωση των παραπάνω καρτελών γίνεται είτε απευθείας με πληκτρολόγηση είτε αυτόματα από αρχείο excel που θα εισαχθεί στο λογισμικό, το οποίο θα έχει ένα συγκεκριμένο format κατάλληλο για το Rockworks. Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε ο δεύτερος τρόπος εισαγωγής δεδομένων.

Π.4.1 Το κύριο menu Map

Από το Menu Map είναι δυνατή η δημιουργία ενός χάρτη πάνω στον οποίον θα προβάλλονται οι θέσεις των διαθέσιμων γεωτρήσεων. Στο χάρτη αυτό μπορεί να γίνει προβολή μιας αεροφωτογραφίας, ενός τοπογραφικού χάρτη, ισοϋψών καμπύλων κ.ά.

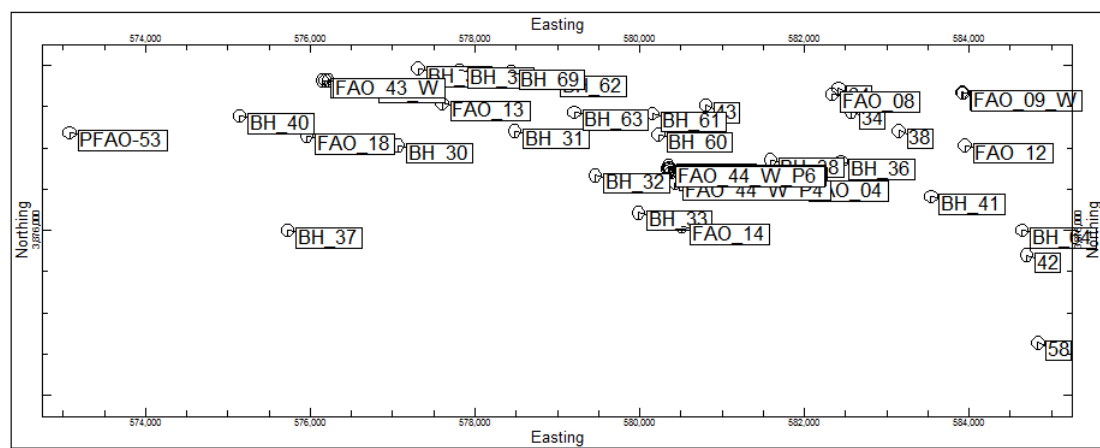
Borehole Locations

- Από την εντολή Map>Borehole Locations ανοίγει ένα νέο παράθυρο ρυθμίσεων.
- Στην επιλογή Borehole Symbol + Label Options ανοίγει ένα υπό-menu στο οποίο μπορούν να ρυθμιστούν επιλογές όπως τα σύμβολα που θα χρησιμοποιηθούν για τις θέσεις των γεωτρήσεων, η εμφάνιση ή μη των ονομάτων των γεωτρήσεων καθώς και άλλες ρυθμίσεις.
- Στο πεδίο Border και Border Options γίνονται οι ρυθμίσεις του πλαισίου που περιβάλλει τον χάρτη όπως οι λεζάντες προσανατολισμού, οι διαστάσεις κ.ά.



Εικόνα Π.8 Το παράθυρο ρυθμίσεων του Borehole Location και το υπό-menu Borehole Symbols and labels

- Πατώντας Process δημιουργείται ο χάρτης διευθύνσεων των γεωτρήσεων.



Εικόνα Π.9 Ο χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων έτσι όπως σχεδιάστηκε με την εντολή Borehole Location

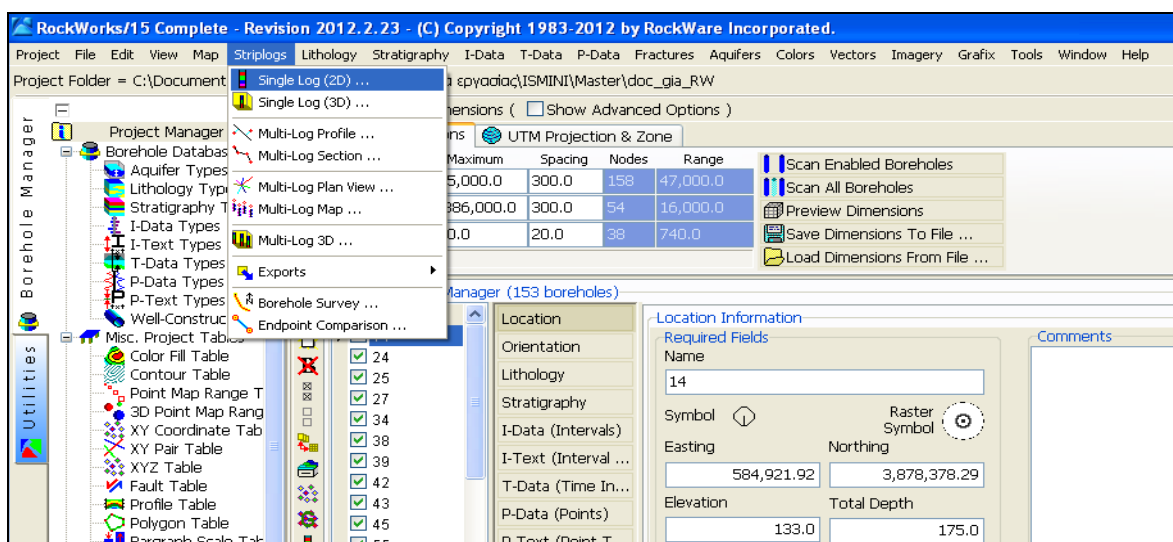
Π.4.2 Το κύριο menu Striplogs

Από το Menu Striplog είναι δυνατή η απεικόνιση σε διαστάσεις 2D και 3D της λιθολογίας και στρωματογραφίας μεμονωμένων ή πολλαπλών γεωτρήσεων, η δημιουργία προφίλ γεωτρήσεων που είναι τοποθετημένες σε μία ευθεία ή και τυχαία καθώς και άλλες επιλογές.

Για να γίνει δυνατή η απεικόνιση των γεωτρήσεων, εκτός του menu Location, απαιτείται να είναι συμπληρωμένη τουλάχιστον μια από τις καρτέλες Lithology, Stratigraphy, I-Data, P-Data, T-Data και Aquifer.

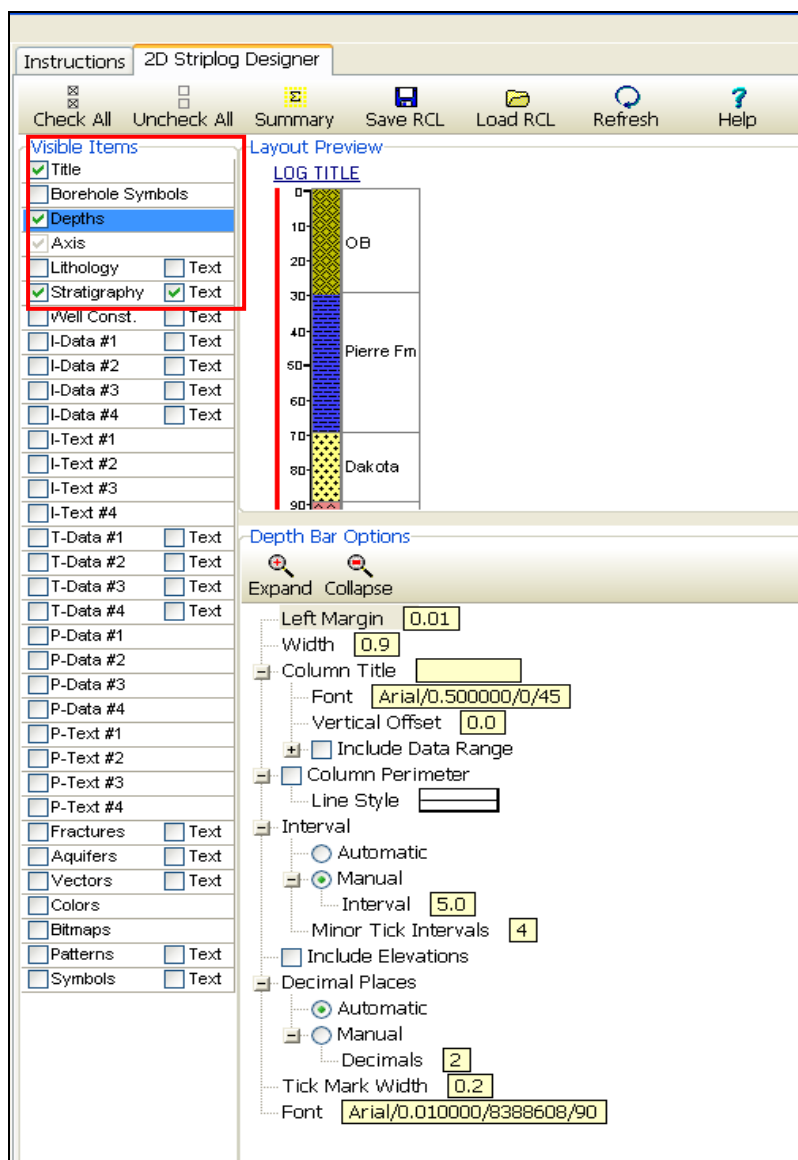
Single log (2D)

- Στο κεντρικό menu στην επιλογή Striplogs επιλέγεται το Single log (2D) και ανοίγει ένα νέο παράθυρο εργασίας για τις απαιτούμενες ρυθμίσεις.



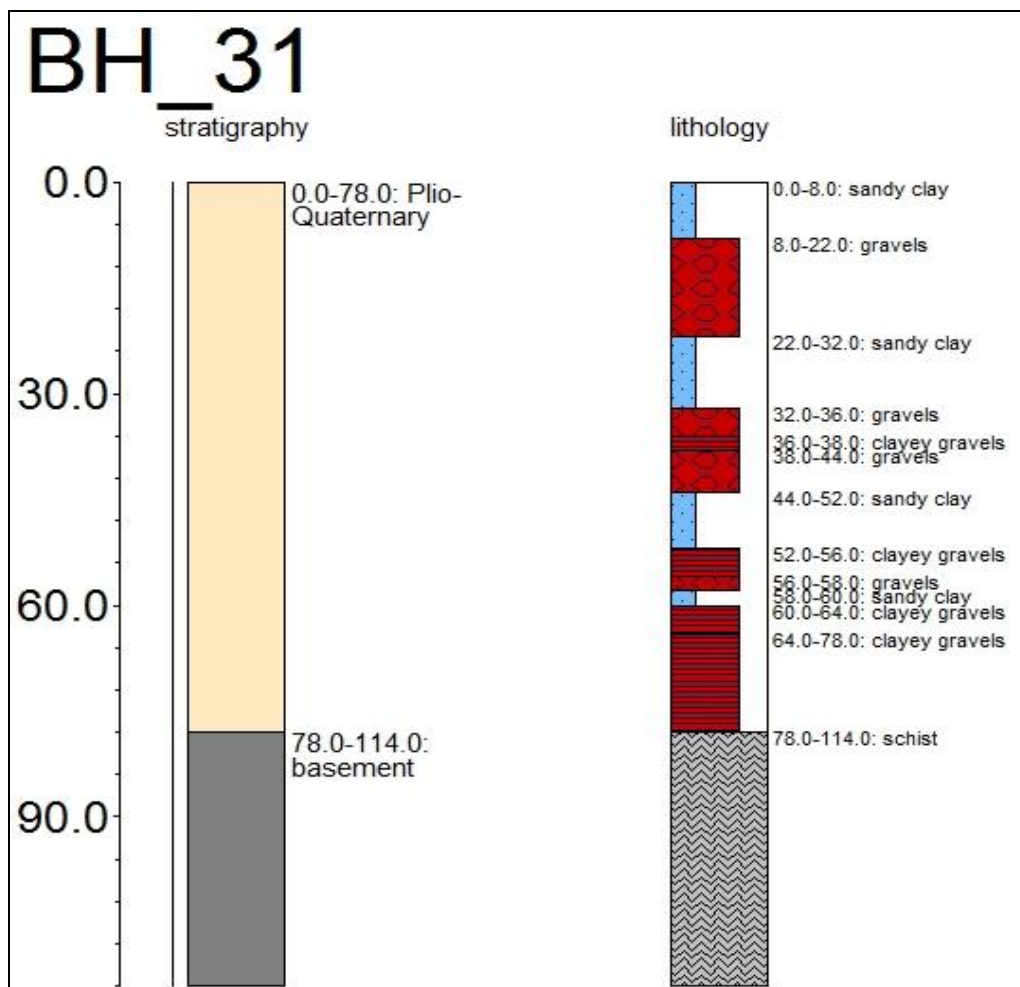
Εικόνα Π.10 Επιλογή Striplogs>Single Log (2D)

- Στις καρτέλες στην δεξιά πλευρά του παραθύρου επιλέγουμε την 2D Striplog Designer. Εμφανίζεται μια καρτέλα ρυθμίσεων και με τις επιλογές Title, Depths για να εμφανίζεται ο τίτλος της γεώτρησης και τα βάθη και μετά Lithology ή Stratigraphy και Text για να εμφανίζονται η λιθολογία ή η στρωματογραφία της κάθε γεώτρησης αντίστοιχα, καθώς και άλλες επιμέρους επιλογές. Δεξιά εμφανίζεται μια προεπισκόπηση της γεώτρησης ενώ κάτω από αυτή η επιμέρους ρυθμίσεις (π.χ. για το μέγεθος και τη γραμματοσειρά του τίτλου κ.τ.λ.).



Εικόνα Π.11 Καρτέλα ρυθμίσεων διαστάσεων απεικόνισης γεώτρησης

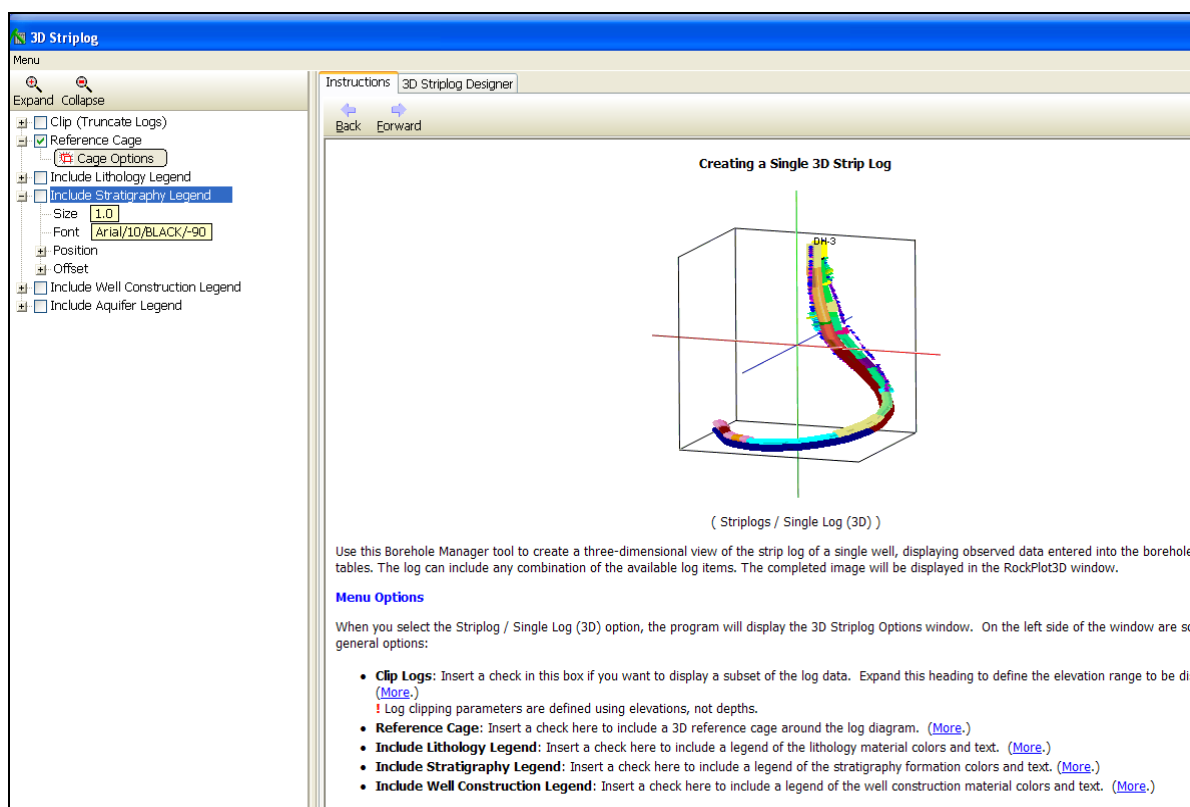
- Πατώντας Process δημιουργείται η γεώτρηση.



Εικόνα Π.12 Απεικόνιση στρωματογραφίας και λιθολογίας γεωτρήσεων

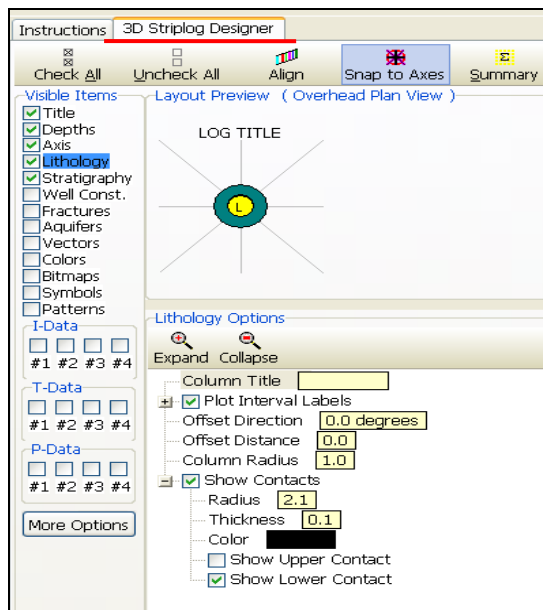
Single log (3D)

- Στο κεντρικό menu στην επιλογή Striplogs επιλέγεται το Single log (3D) και ανοίγει ένα νέο παράθυρο εργασίας για τις απαιτούμενες ρυθμίσεις.



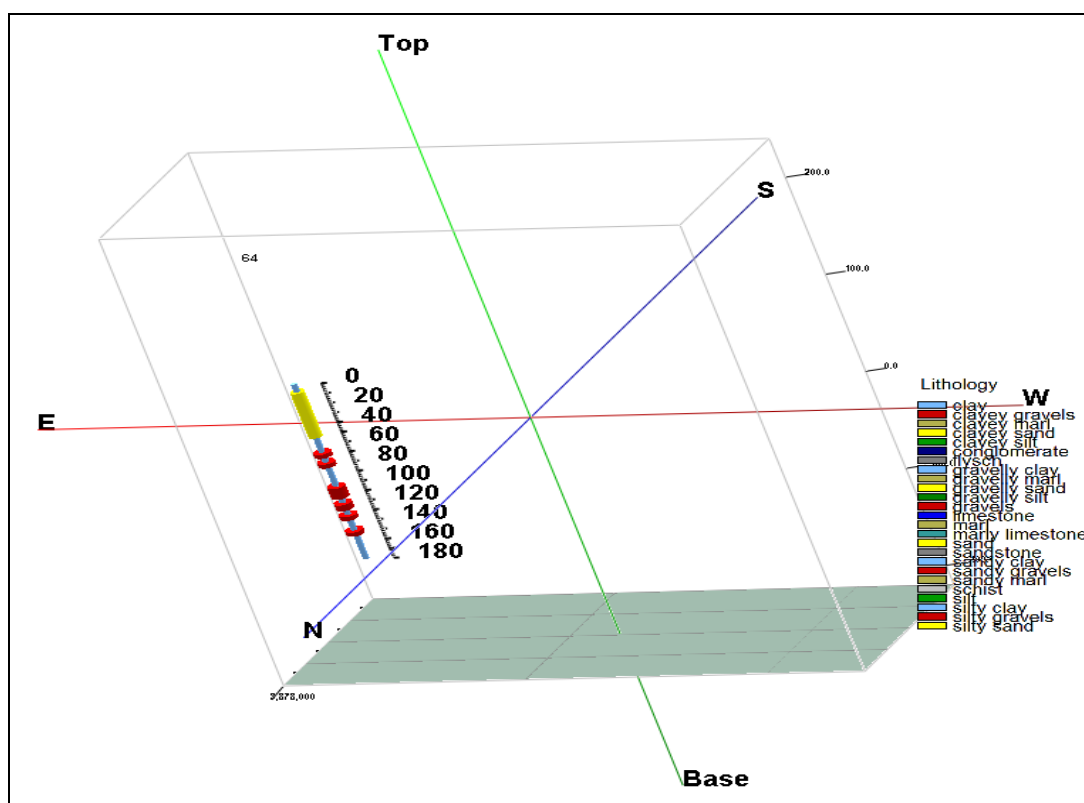
Εικόνα Π.13 Παράθυρο ρυθμίσεων 3D Striplog

- Στο αριστερό menu επιλογών δίνεται η δυνατότητα χρήσης και ρύθμισης κελιού που θα περιβάλλει την γεώτρηση. Πατώντας την εντολή Cage Options ανοίγει το σχετικό menu. Επίσης από τις εντολές Include Lithology Legend και Include Stratigraphy Legend επιλέγεται η προσάρτηση επεξηγηματικής λεζάντας λιθολογίας ή στρωματογραφίας στη γεώτρηση.
- Στις καρτέλες στην δεξιά πλευρά του παραθύρου επιλέγουμε την 3D Striplog Designer. Εμφανίζεται μια καρτέλα ρυθμίσεων και με τις επιλογές Title, Depths για να εμφανίζεται ο τίτλος της γεώτρησης και τα βάθη και μετά Lithology ή Stratigraphy και Text για να εμφανίζονται η λιθολογία ή η στρωματογραφία της κάθε γεώτρησης αντίστοιχα καθώς και άλλες επιμέρους επιλογές. Δεξιά εμφανίζεται μια προεπισκόπηση της γεώτρησης ενώ κάτω από αυτή η επιμέρους ρυθμίσεις (π.χ. για το μέγεθος και τη γραμματοσειρά του τίτλου κ.τ.λ.). Το menu αυτό είναι παρόμοιο με το 2D Striplog Designer.

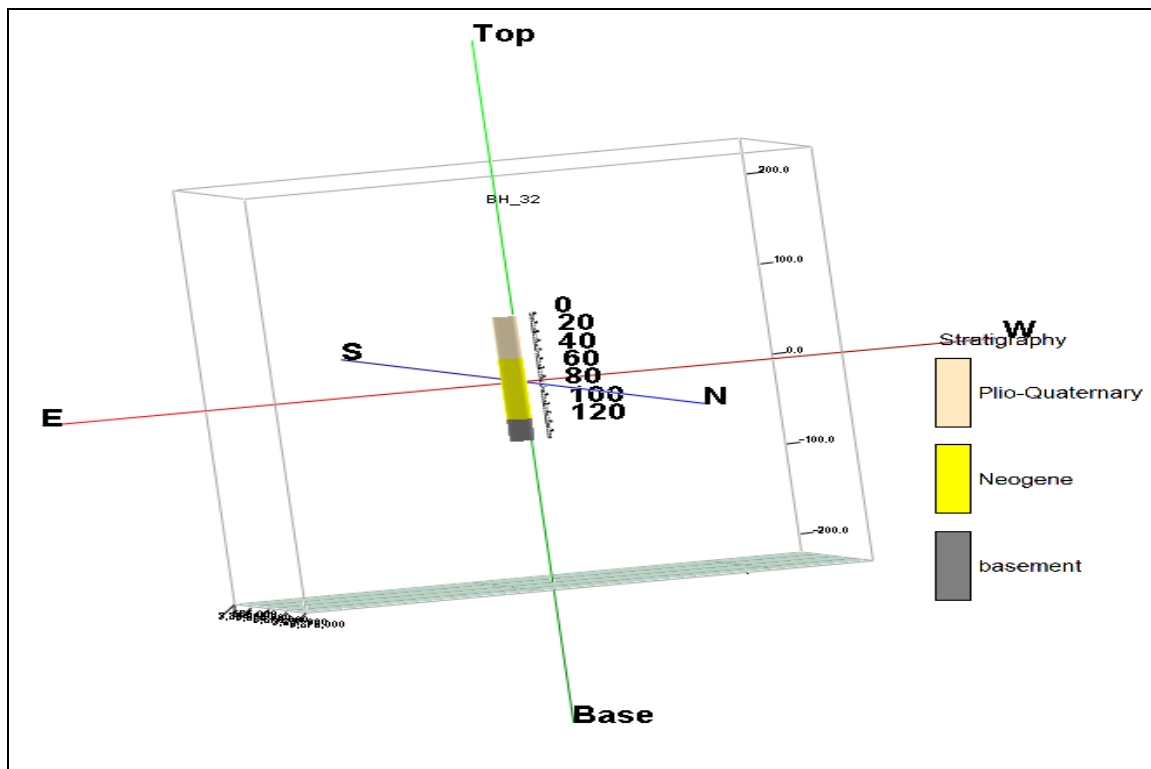


Εικόνα Π.14 Καρτέλα ρυθμίσεων τρισδιάστατης απεικόνισης γεώτρησης

- Πατώντας Process δημιουργείται η γεώτρηση.



Εικόνα Π.15 Τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας γεώτρησης

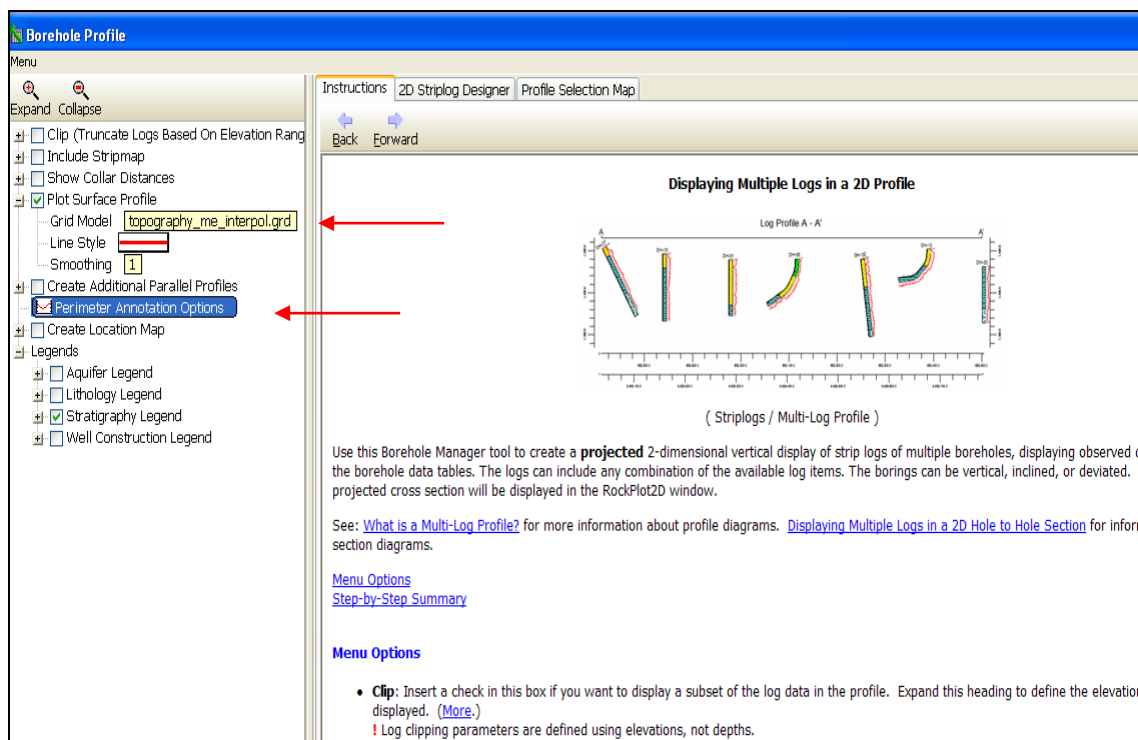


Εικόνα Π.16 Τρισδιάστατη απεικόνιση της στρωματογραφίας γεώτρησης

Multi-Log Profile

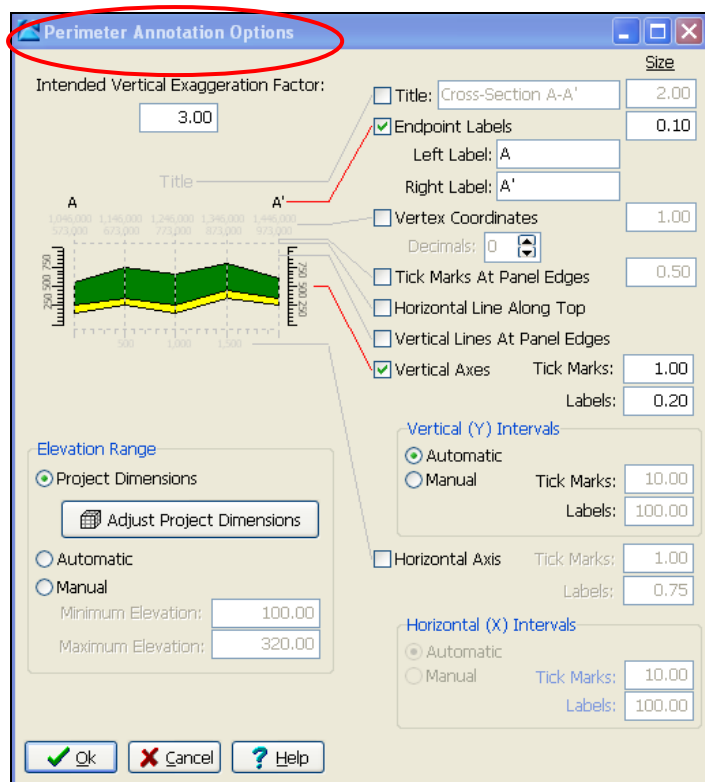
Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται για να απεικονιστεί η λιθολογία και η στρωματογραφία πολλαπλών γεωτρήσεων κατά μήκος μίας ευθείας γραμμής η διεύθυνση της οποίας καθορίζεται από το χρήστη σύμφωνα με την περιοχή μελέτης. Η απεικόνιση αυτή συμπεριλαμβάνει μόνο τις γεωτρήσεις από τις οποίες περνά η γραμμή αυτή. Υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης του πλάτους της γραμμής με σκοπό να συμπεριληφθούν και γειτονικές στη γραμμή γεωτρήσεις.

- Από τη γραμμή εργαλείων επιλέγεται διαδοχικά Striplogs>Multilog Profile και ανοίγει το παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής.



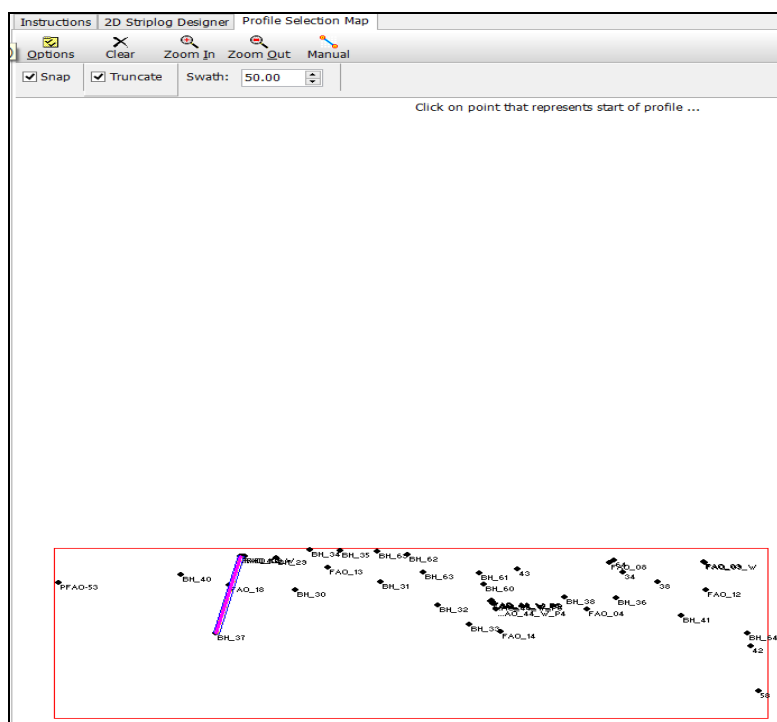
Εικόνα Π.17 Menu ρυθμίσεων Multilog Profile

- Στην αριστερή πλευρά η εντολή Plot Surface Profile σχεδιάζει στο προφίλ μια γραμμή που αντιπροσωπεύει την τοπογραφία επί της γραμμής που έχει οριστεί να γίνει το προφίλ. Η μορφή της γραμμής εξαρτάται από το αρχείο που θα εισαχθεί στο πεδίο Grid Model. Αυτό το αρχείο .grd θα πρέπει ήδη να έχει δημιουργηθεί και να υπάρχει σε φάκελο του project.
- Το μενού Perimeter Annotation Options ανοίγει νέο παράθυρο ρυθμίσεων στο οποίο είναι δυνατές μια σειρά από επιλογές όπως είναι η εμφάνιση ή όχι τίτλου στο profile, κατακόρυφων αξόνων υψομέτρων, το εύρος του υψομέτρου και αν αυτό θα καθοριστεί αυτόματα, χειροκίνητα η από το Project Dimensions καθώς και άλλες επιλογές.

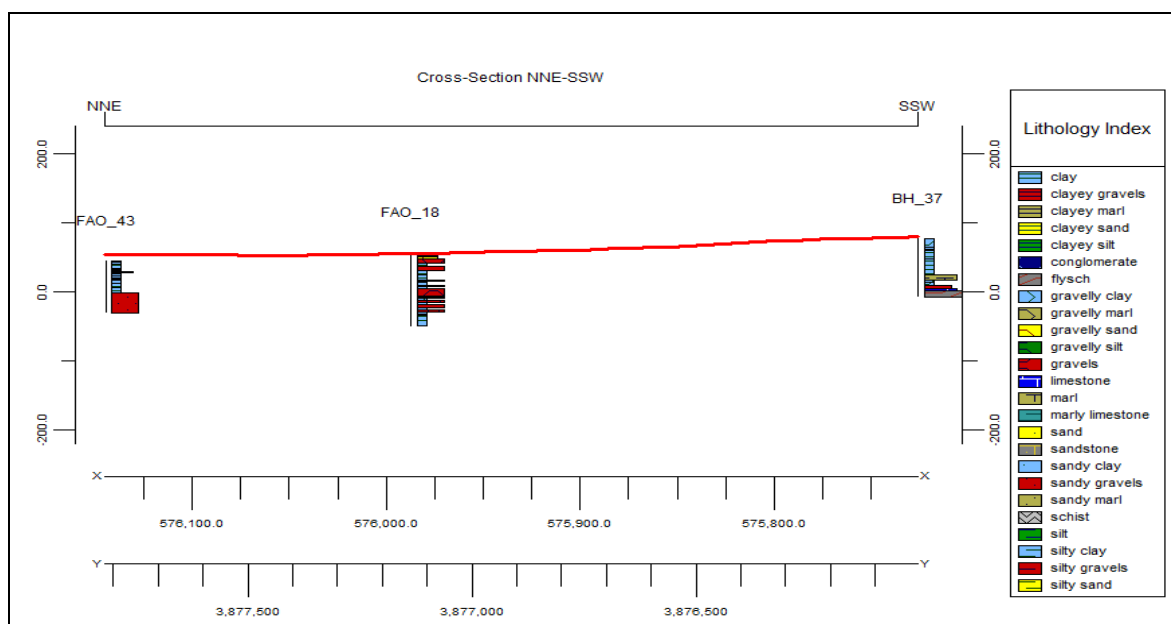


Εικόνα Π.18 Καθορισμός των στοιχείων που θα εμφανίζονται περιμετρικά του προφίλ

- Η επιλογή Create Location Map δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός χάρτη της περιοχής, που συνάπτεται του profile, ο οποίος θα έχει την ευθεία γραμμή μελέτης καθώς και το εύρος της. Γίνεται επιλογή ή όχι εμφάνισης των διευθύνσεων των γεωτρήσεων.
- Στα Legends επιλέγεται το επιθυμητό υπόμνημα που θα εμφανίζεται όπως λιθολογία, στρωματογραφία κ.τ.λ.
- Στην δεξιά πλευρά του παραθύρου των επιλογών εμφανίζεται η γνωστή από το single-log καρτέλα του 2D Striplog Designer με παρόμοια διάταξη menu.
- Η επόμενη καρτέλα επιλογής είναι το Profile Selection Map όπου εμφανίζεται ένας χάρτης με όλες τις διαθέσιμες γεωτρήσεις. Στο χάρτη αυτό γίνεται ο σχεδιασμός της ευθείας γραμμής μελέτης καθώς και ο καθορισμός του εύρους της γραμμής αυτής με την εντολή Swath.



Εικόνα Π.19 Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού προφίλ πολλαπλών γεωτρήσεων

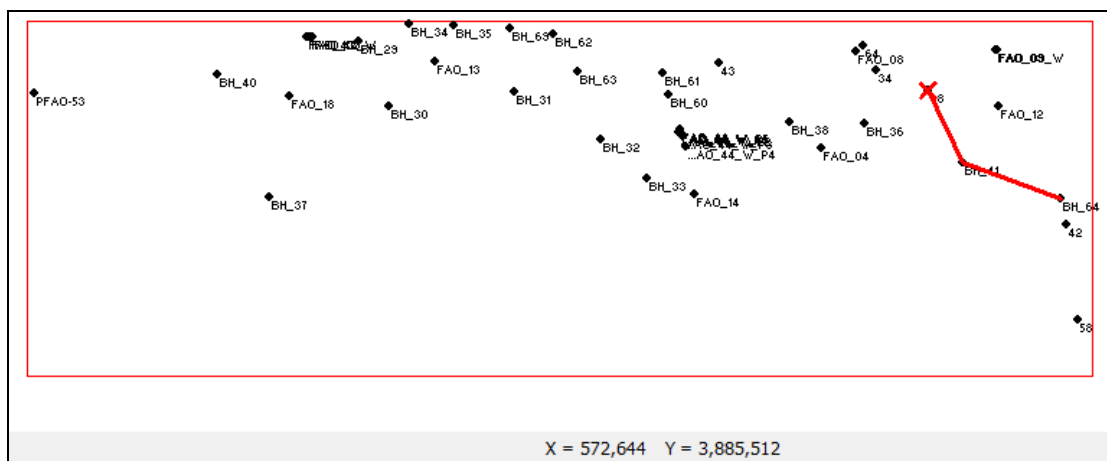


Εικόνα Π.20 Δημιουργία λιθολογικού προφίλ πολλαπλών γεωτρήσεων. Η κόκκινη γραμμή που διέρχεται από το ανώτερο τμήμα των λιθολογικών στηλών αποτελεί την τοπογραφική επιφάνεια κατά μήκος της γραμμής του προφίλ.

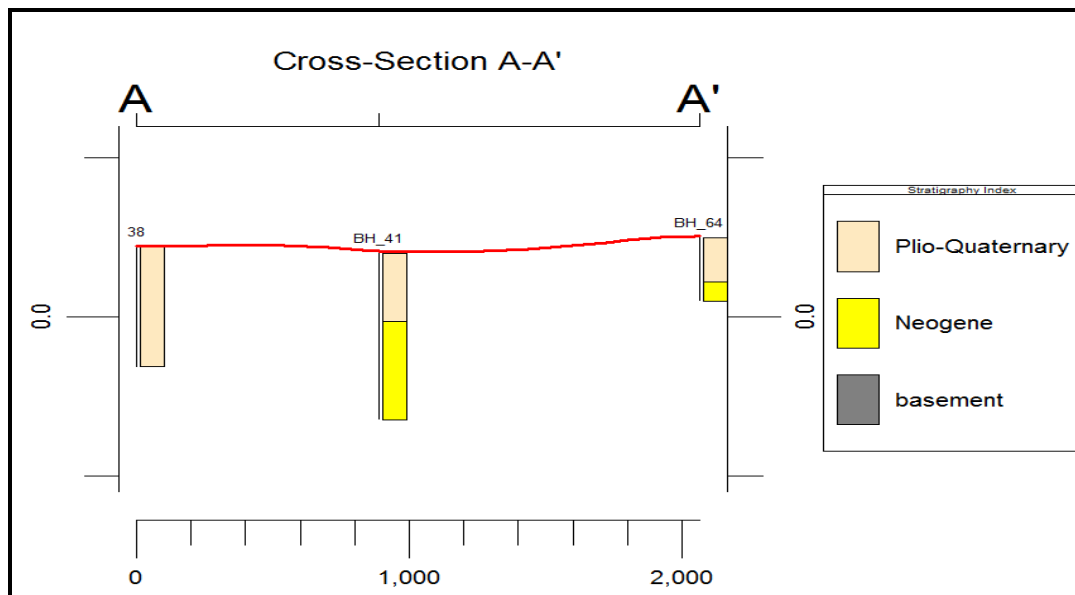
Multi-Log Section

Είναι πιθανό να μην ικανοποιεί τη μελέτη η δημιουργία profile αποκλειστικά σε μία ευθεία γραμμή. Για το λόγο αυτό δίνεται η δυνατότητα από το λογισμικό σχηματισμού και τεθλασμένης γραμμής μελέτης για την κατασκευή στρωματογραφικού ή λιθολογικού profile.

- Με την εντολή Striplogs>Multi - Log Section ανοίγει ένα νέο παράθυρο ρυθμίσεων με περιβάλλον παρόμοιο της εντολής Multi-Log Profile γι' αυτό δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί εκ νέου. Στην καρτέλα Profile Section Map όπου φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων ο χρήστης επιλέγει τις γεωτρήσεις που επιθυμεί σε οποιαδήποτε κατεύθυνση σχηματίζοντας τεθλασμένη γραμμή. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα καθορισμού εύρους γραμμής.



Εικόνα Π.21 Επιλογή γεωτρήσεων για τη δημιουργία λιθολογικού και στρωματογραφικού πολλαπλών γεωτρήσεων προφίλ με την εντολή Multilog Section

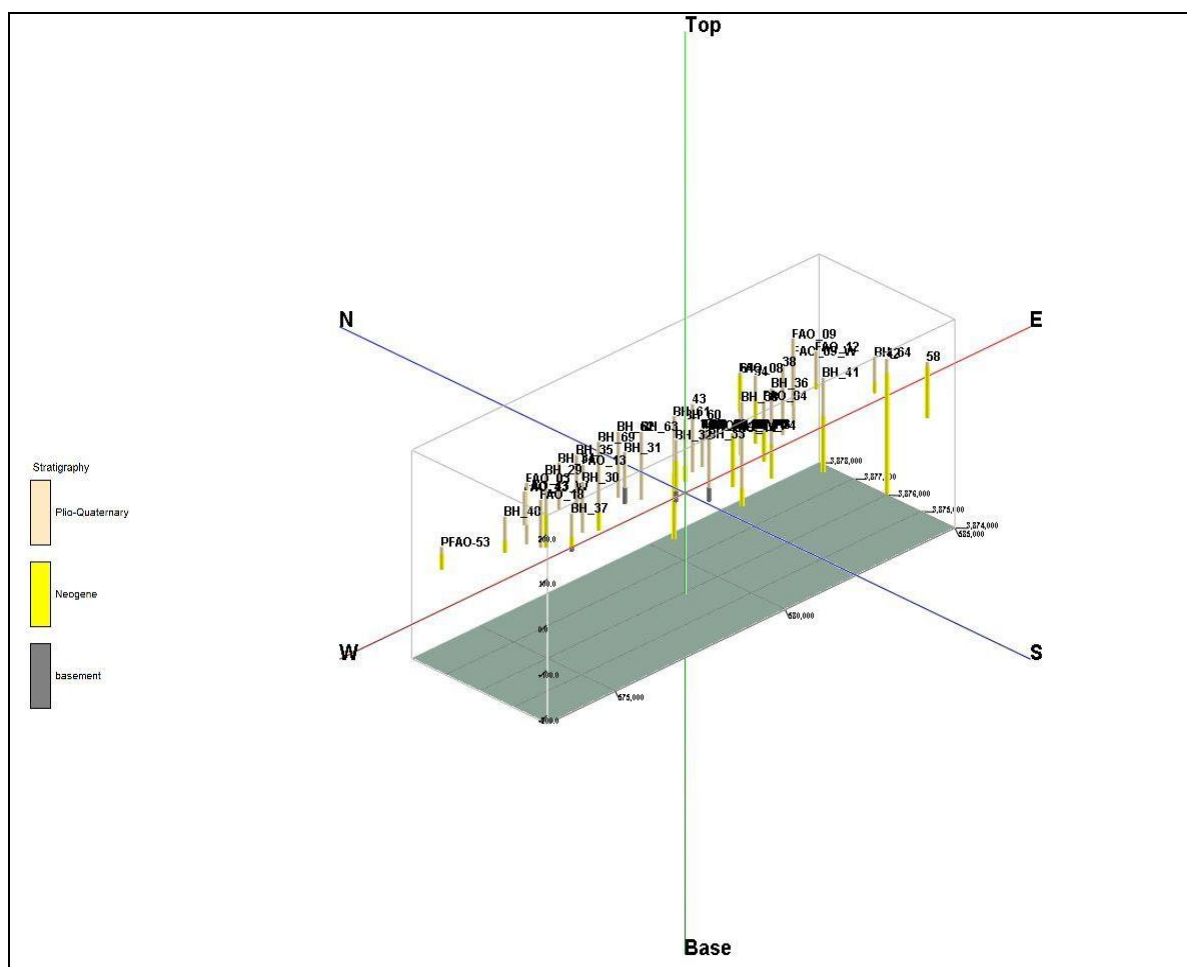


Εικόνα Π.22 Στρωματογραφικό προφίλ πολλαπλών γεωτρήσεων με την εντολή Multilog Section

Multi-Log 3D

Με την εντολή Multi-Log 3D δίνεται η δυνατότητα προβολής της λιθολογίας ή της στρωματογραφίας όλων των διαθέσιμων γεωτρήσεων σε τρεις διαστάσεις.

- Με την εντολή Striplogs>Multi - Log 3D ανοίγει ένα νέο παράθυρο ρυθμίσεων με περιβάλλον παρόμοιο της εντολής Single Log 3D. Οι ρυθμίσεις γίνονται κατά τον τρόπο ο οποίος έχει αναπτυχθεί παραπάνω.



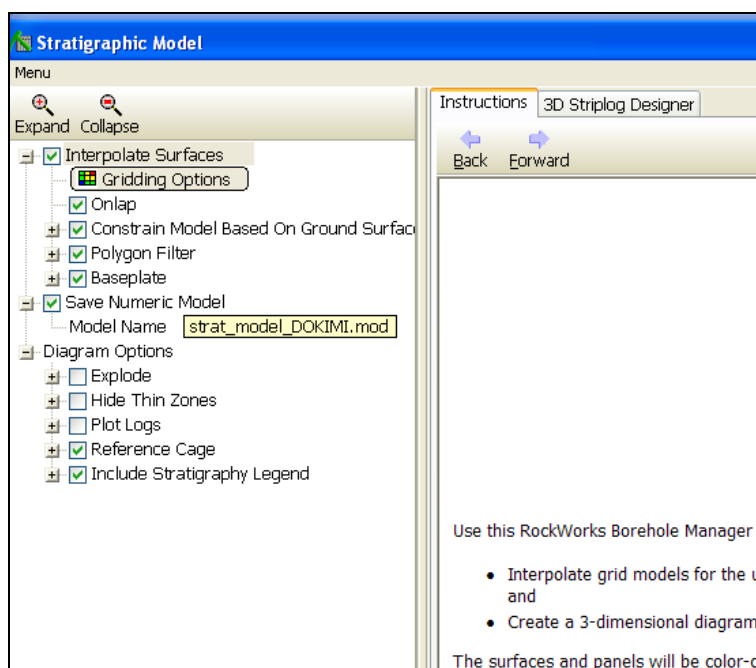
Εικόνα Π.23 Στρωματογραφία γεωτρήσεων σε τρεις διαστάσεις

Π.4.3 Το κύριο menu Stratigraphy

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των γεωτρήσεων και πιο συγκεκριμένα αυτά που έχουν προθύστερα εισαχθεί στο κεντρικό menu Borehole Utilities στο πεδίο Stratigraphy, το λογισμικό είναι δυνατό να δημιουργήσει τρισδιάστατα στρωματογραφικά μοντέλα.

Model

- Από το κύριο menu επιλέγεται διαδοχικά Stratigraphy > Model. Ανοίγει ένα νέο παράθυρο ρυθμίσεων το οποίο δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου.



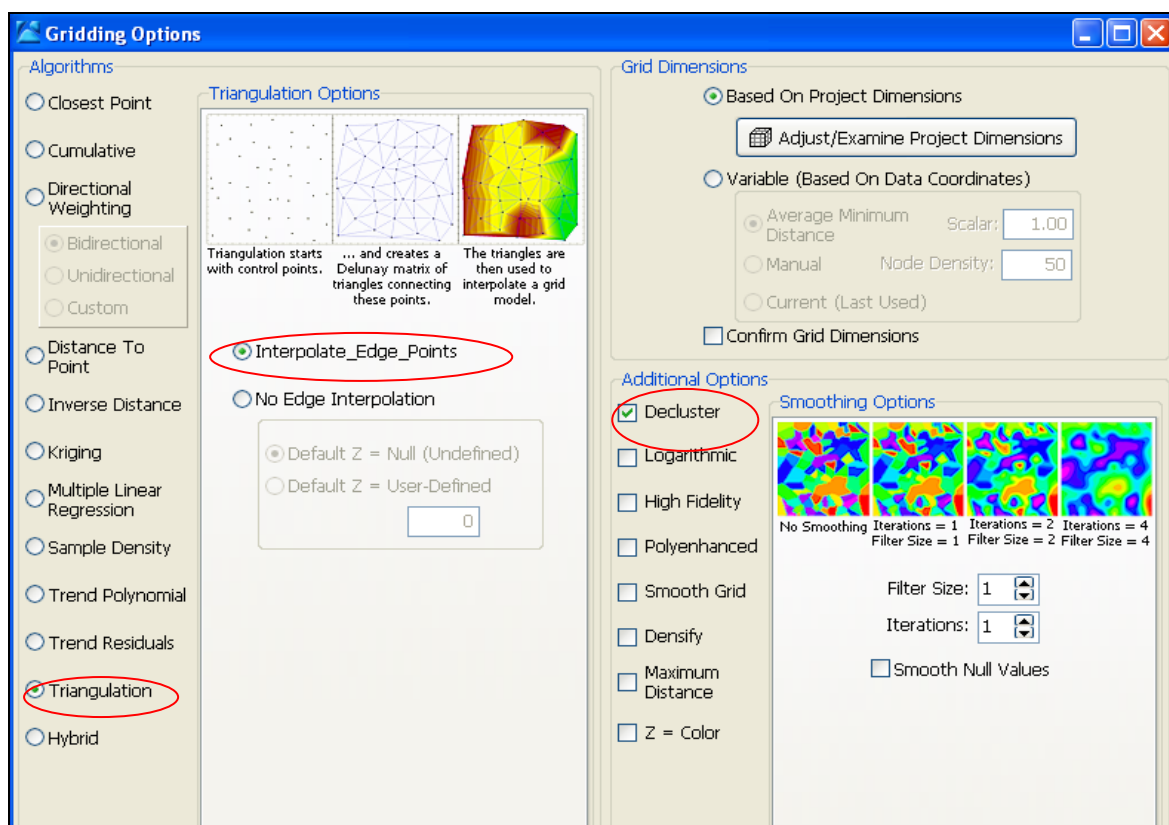
Εικόνα Π.24 Παράθυρο εντολών για την κατασκευή τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου

- Στο δεξί μέρος του παραθύρου επιλογών υπάρχει η καρτέλα 3D Striplog Designer οι ρυθμίσεις τις οποίας είναι παρόμοιες με τις καρτέλες Striplog Designer στα menu single και multi log που έχουν αναλυθεί παραπάνω.
- Στο αριστερό μέρος του παραθύρου επιλογών η εντολή Interpolate Surfaces επιλέγεται στην περίπτωση που επιθυμείται η παρεμβολή επιφανειών όπως π.χ. η τοπογραφία.
- Στο πεδίο Gridding Options οι παράμετροι είναι οι ίδιες όπως αναλύονται και στο υποκεφάλαιο 'Δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων εδάφους'.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία για την κατασκευή του μοντέλου ο αλγόριθμος παρεμβολής που επιλέχθηκε είναι ο τριγωνισμός (Triangulation), όπου επιλέγοντας ανοίγουν οι επιπλέον ρυθμίσεις του συγκεκριμένου αλγορίθμου.

- Με τις επιλογές Interpolate Edge Points και No Edge Interpolation η επιλέγεται ή όχι ο αυτόματος υπολογισμός των οριακών σημείων του μοντέλου στα οποία δεν υπάρχουν τιμές.
- Στην κατηγορία Grid Dimensions γίνεται ο προσδιορισμός των διαστάσεων. Επιλέγεται Based On Project Dimensions ούτως ώστε να βασίζεται στις διαστάσεις που ορίστηκαν από το πεδίο Project Dimensions.
- Στην κατηγορία Additional Options επιλέχθηκε Decluster, όπου χρησιμοποιείται εάν υπάρχουν συγκεντρωμένα ή διπλά σημεία. Το

πρόγραμμα δημιουργεί, πριν από την προσομοίωση, ένα φανταστικό πλέγμα (pre-grid) πάνω από τα σημεία των δεδομένων. Η ανάλυση πλέγματος επιλέγεται στο πεδίο Resolution, όπου συμπληρώνεται ο αριθμός των κελιών του πλέγματος κατά τους δύο άξονες Ανατολή – Δύση και Βορρά -Νότο.

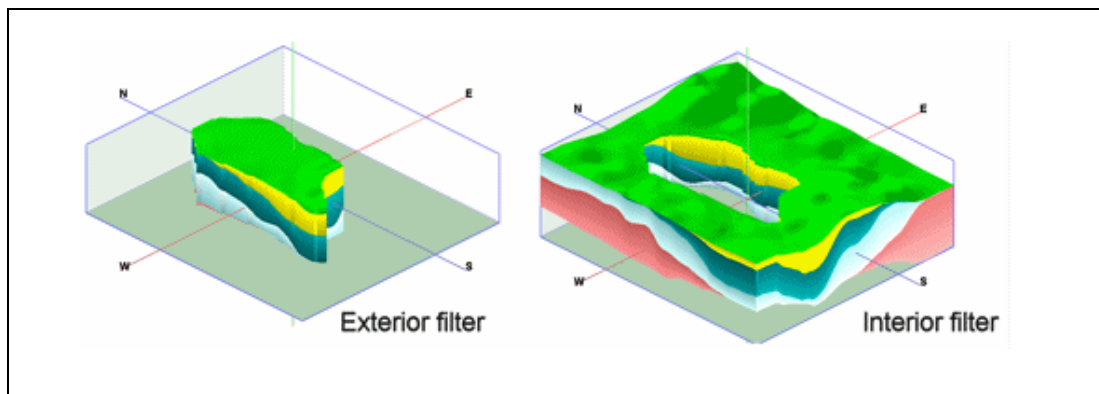


Εικόνα Π.25 Παράθυρο επιλογών Gridding Options με τις επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για την κατασκευή του στρωματογραφικού μοντέλου.

- Η ρύθμιση Onlap επιλέγεται για να διορθώσει στρωματογραφικά μοντέλα στα οποία τμήματα μιας ανώτερης στρωματογραφικά ενότητας εκτείνονται κάτω από τη βάση μιας χαμηλότερης ενότητας. Δίνοντας προτεραιότητα στις χαμηλότερα στρωματογραφικές ενότητες δημιουργώντας το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω.
- Η επιλογή Constrain Model Based On Ground Surface περιορίζει το μοντέλο χρησιμοποιώντας μια επιφάνεια που συνήθως είναι η τοπογραφική. Ενώ στο πεδίο Ground Surface Grid Model επιλέγεται το αντίστοιχο αρχείο επιφανείας πάντα με την κατάληξη .grd
- Polygon Filter: η επιλογή αυτή ενεργοποιείται για να αφαιρεθούν τμήματα της στρωματογραφικής επιφάνειας που βρίσκονται, είτε εντός είτε εκτός (Filter

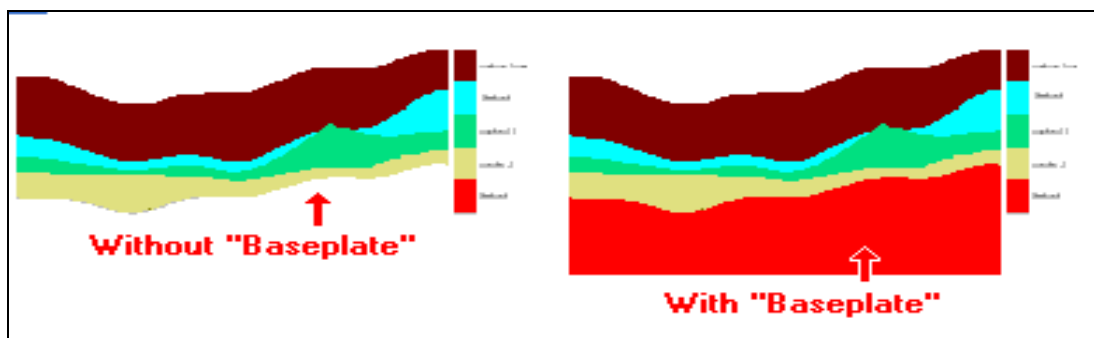
Type, Exterior, Interior) , ενός πολυγώνου που έχει καθοριστεί από τον χρήστη. Το πολύγωνο αυτό μπορεί να αντιπροσωπεύει την γεωμετρία ενός στρωματογραφικού σχηματισμού, την ακριβή έκταση που καταλαμβάνει στην περιοχή μελέτης. Το πολύγωνο αυτό μπορεί να σχεδιαστεί σε ένα άλλο πρόγραμμα όπως για παράδειγμα το AutoCAD. Στην παρούσα εργασία έχει σχεδιαστεί και εισαχθεί το πολύγωνο των Πλειο-Τεταρτογενών σχηματισμών της λεκάνης της Μεσσαράς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τη δημιουργία τρισδιάστατου στρωματογραφικού μοντέλου δεν είναι απαραίτητη η χρήση και ρύθμιση της εντολής Filter Polygon, αν και χρησιμοποιώντας την, προσεγγίζονται πειστικότερα οι πραγματικές γεωλογικές συνθήκες.



Εικόνα Π.26 Η χρήση του φίλτρου Polygon (εικόνα από tutorial RockWorks)

- Baseplate: με την επιλογή αυτή η βάση του κατώτερου σχηματισμού θα επεκταθεί στο σύνολο του υψομέτρου. Στο πεδίο Start Unite δίνεται το όνομα του σχηματισμού που θα επεκταθεί, ενώ στο πεδίο Elevation ορίζεται η τιμή υψομέτρου της βάσης του σχηματισμού που επιλέχθηκε προηγουμένως.

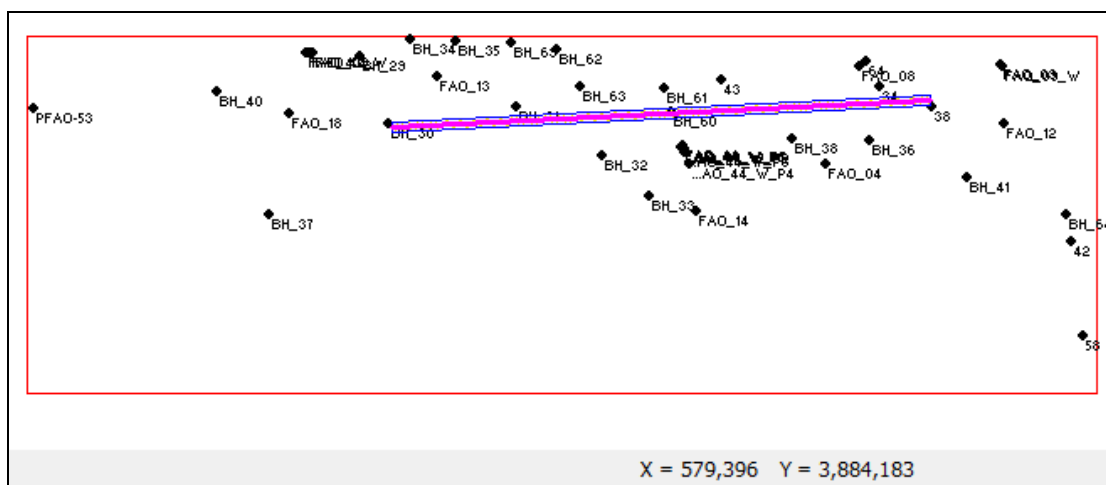


Εικόνα Π.27 Η εντολή Baseplate (εικόνα από tutorial RockWorks)

Profile

Τα προφίλ τύπου «Profile» σχεδιάζονται κατά μήκος μίας ευθείας γραμμής στην περιοχή μελέτης. Το λογισμικό δημιουργεί στρωματογραφικές τομές δύο διαστάσεων που ορίζονται μεταξύ οποιονδήποτε δύο σημείων τα οποία ενώνονται με μια ευθεία γραμμή.

- Από το κύριο menu εντολών επιλέγεται διαδοχικά Stratigraphy>Profile. Ανοίγει νέο παράθυρο ρυθμίσεων των παραμέτρων κατασκευής και απεικόνισης του προφίλ.

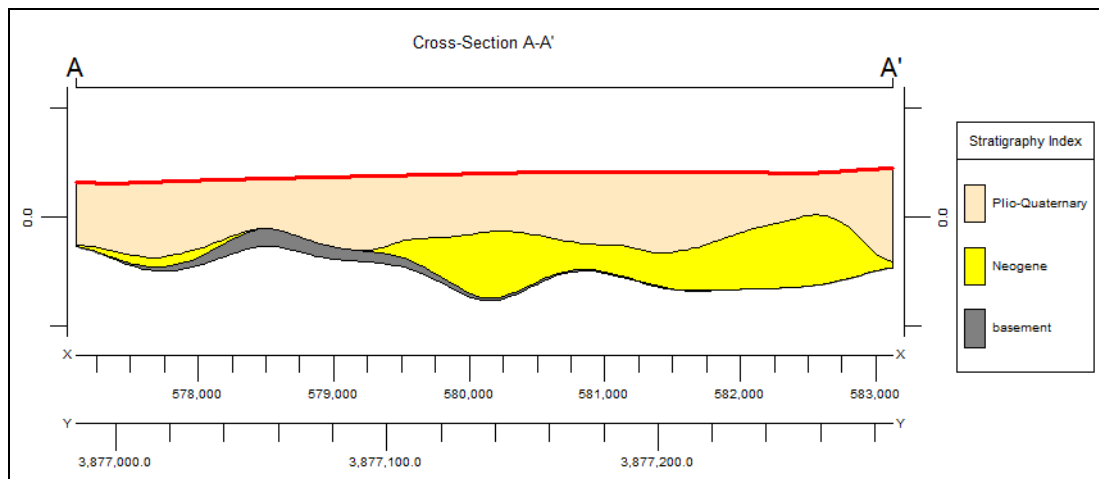


Εικόνα Π.29 Επιλογή του Stratigraphy Profile

- Στο αριστερό μέρος του παραθύρου επιλογών πεδίο Correlation Options γίνεται η ρύθμιση των εντολών για τον τρόπο με τον οποίο θα δημιουργηθούν τα στρώματα του profile.
- Η εντολή Fill Background γεμίζει όπου υπάρχει κενό στα δεδομένα, με το χρώμα που ήδη έχει επιλεγεί για το κάθε ένα από τα στρώματα .
- Η εντολή Plot Patterns θα συμπληρώσει τον χαρακτηριστικό σχεδιαστικό συμβολισμό κάθε στρώματος όπως αυτός έχει επιλεγεί στο Stratigraphy Types Table.
- Η Plot Outlines δημιουργεί μια μαύρη διαχωριστική γραμμή που χωρίζει τα στρώματα, με καθορισμένο από τον χρήστη πάχος.
- Το πεδίο Interpolate Surfaces μαζί με τις υποεπιλογές Gridding Options, Onlap, Constrain Model Based on Ground Surface, Polygon Filter, Baseplate

ρυθμίζονται όπως ακριβώς και στις εντολές δημιουργίας στρωματογραφικού μοντέλου και έχουν αναλυθεί παραπάνω.

- Η ρύθμιση των εντολών Stratigraphy Legend, Plot Logs, Plot Surface Profile, Create Location Map έχει αναλυθεί προηγουμένως τόσο στην δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου όσο και στην εντολή Multi-Log Profile.
- Στο δεξί μέρος του παράθυρου επιλογών υπάρχουν οι καρτέλες 2D Striplog Designer με ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές που έχουν αναλυθεί στο menu Striplogs. Ενώ στην καρτέλα Profile Selection Map εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στην οποία σχεδιάζεται η γραμμή του profile.
- Πατώντας Process δημιουργείται το στρωματογραφικό profile.

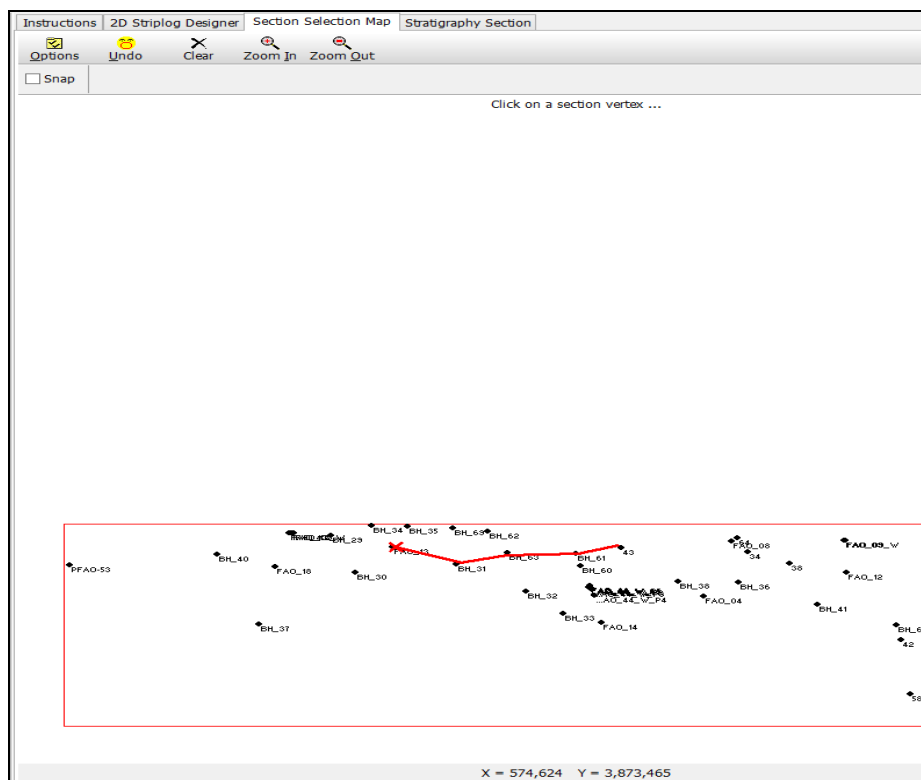


Εικόνα Π.30 Stratigraphy Profile

Section

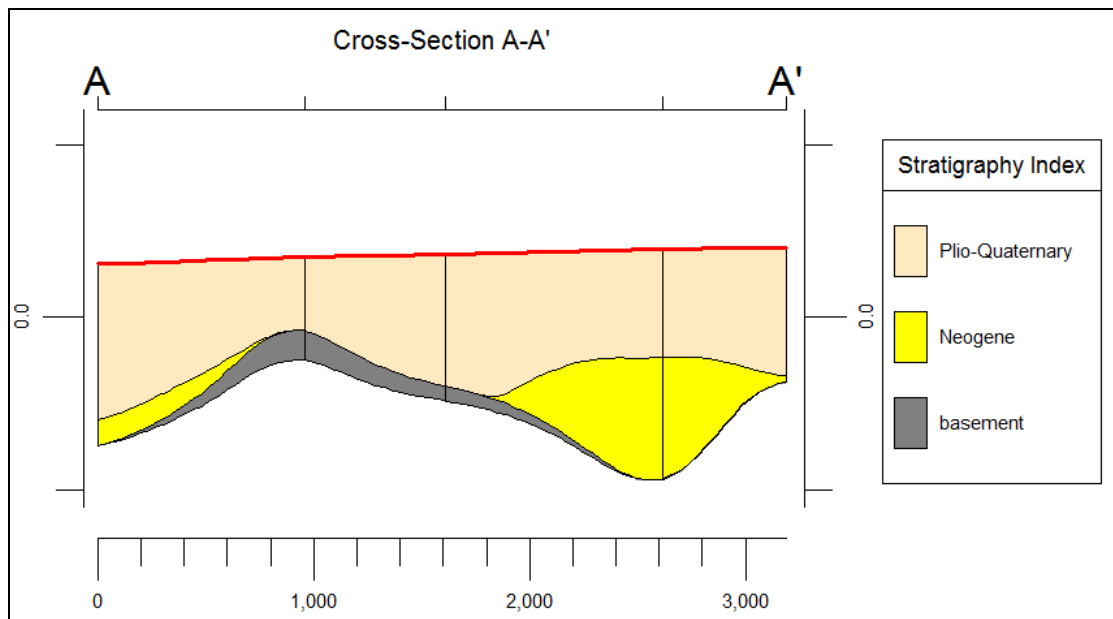
Τα προφίλ τύπου Section σχεδιάζονται κατά μήκος οποιασδήποτε γραμμής στην περιοχή μελέτης.

- Από το κύριο menu επιλέγεται διαδοχικά Stratigraphy>Section>Modeled (Interpolated Surface Models). Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών στο οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις κατασκευής και απεικόνισης του προφίλ.



Εικόνα Π.31 Παράθυρο επιλογών του Stratigraphy Section και ο χάρτης με την γραμμή κατά την οποία θα σχεδιαστεί η δισδιάστατη απεικόνιση

- Οι εντολές στο αριστερό μέρος του παραθύρου επιλογών Correlation Options που αφορούν το σχεδιαστικό μέρος της τομής αναλύθηκαν στην παράγραφο Stratigraphy>Profile.
- Η επεξήγηση για τη ρύθμιση των εντολών Interpolate Surfaces έγινε στην παράγραφο Stratigraphy>Model .
- Η ρύθμιση των εντολών Include Stratigraphy Legend, Plot Logs, Plot Surface Profile, Create Location Map έχει αναλυθεί προηγουμένως τόσο στην δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου όσο και στην εντολή Multi-Log Profile.
- Στο δεξί μέρος του παραθύρου επιλογών υπάρχουν οι καρτέλες 2D Striplog Designer με ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές που έχουν αναλυθεί στο menu Striplogs. Ενώ στην καρτέλα Section Selection Map εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στην οποία σχεδιάζεται η γραμμή του section.
- Πατώντας Process δημιουργείται μια τομή τύπου Section.

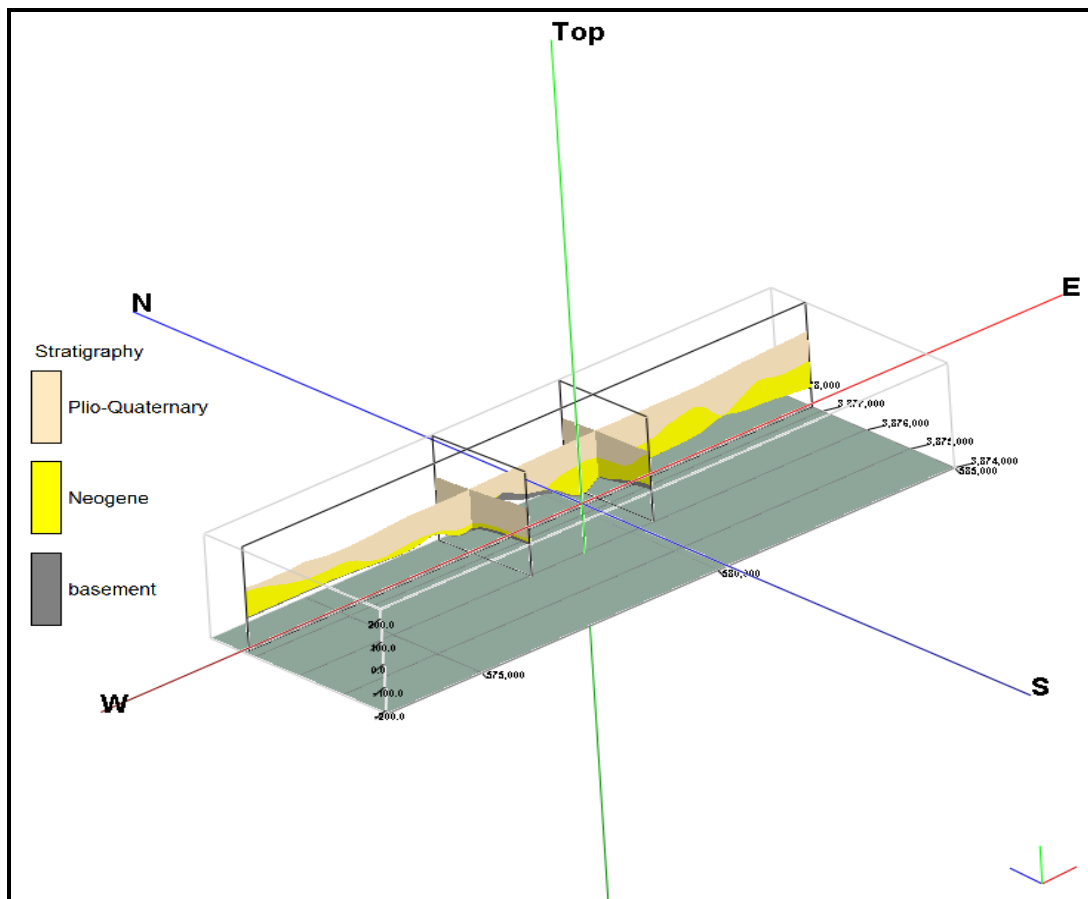


Εικόνα Π.32 Τομή τύπου Section

Fence

Τα διαγράμματα Fence διαφέρουν από τα προηγούμενα στην δυνατότητα που έχει το λογισμικό με την εντολή αυτή να κατασκευάζει πολλαπλά προφίλ σε οποιαδήποτε σημεία της περιοχής μελέτης, που είναι δυνατό να τέμνονται μεταξύ τους ή να είναι παράλληλα και τα οποία προβάλλονται σε τρεις διαστάσεις.

- Από το κύριο menu επιλέγεται διαδοχικά Stratigraphy>Fence>Modeled (Interpolated Surface Models). Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών με το οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις κατασκευής και απεικόνισης του προφίλ. Το παράθυρο ρυθμίσεων έχει τις δύο χαρακτηριστικές στήλες στο δεξί και αριστερό του μέρος.

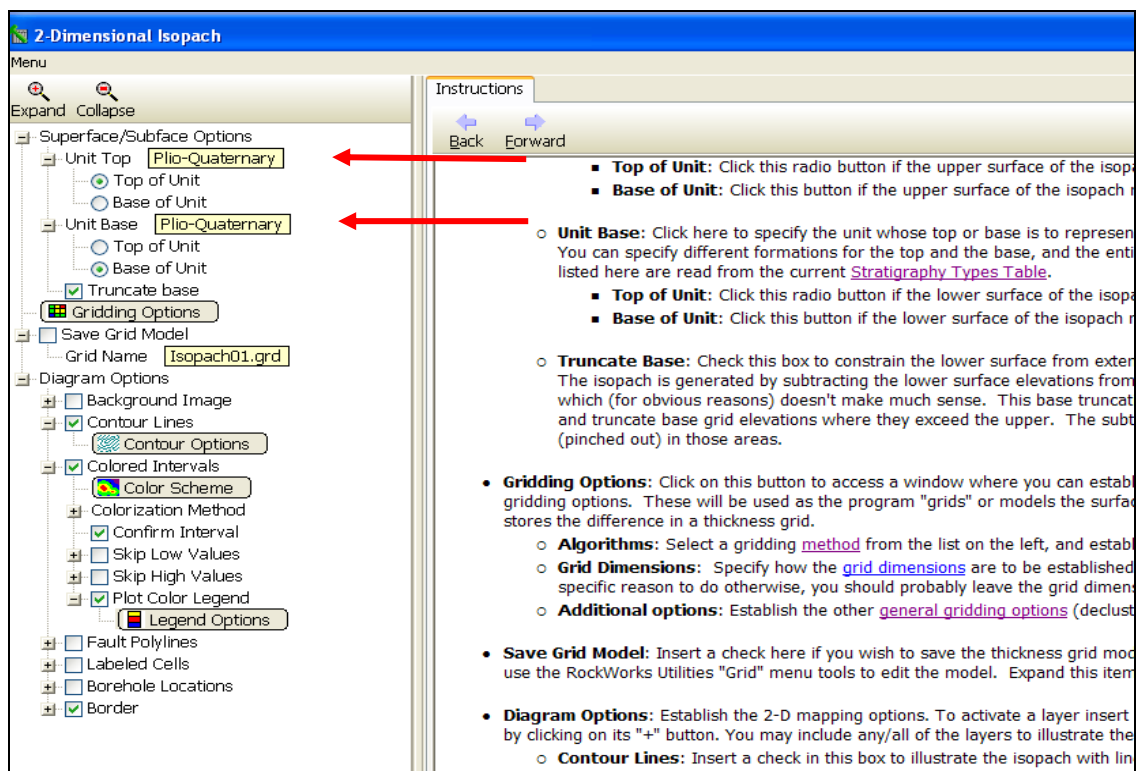


Εικόνα Π.34 Τομές τύπου Fence

Stratigraphic Thicknesses

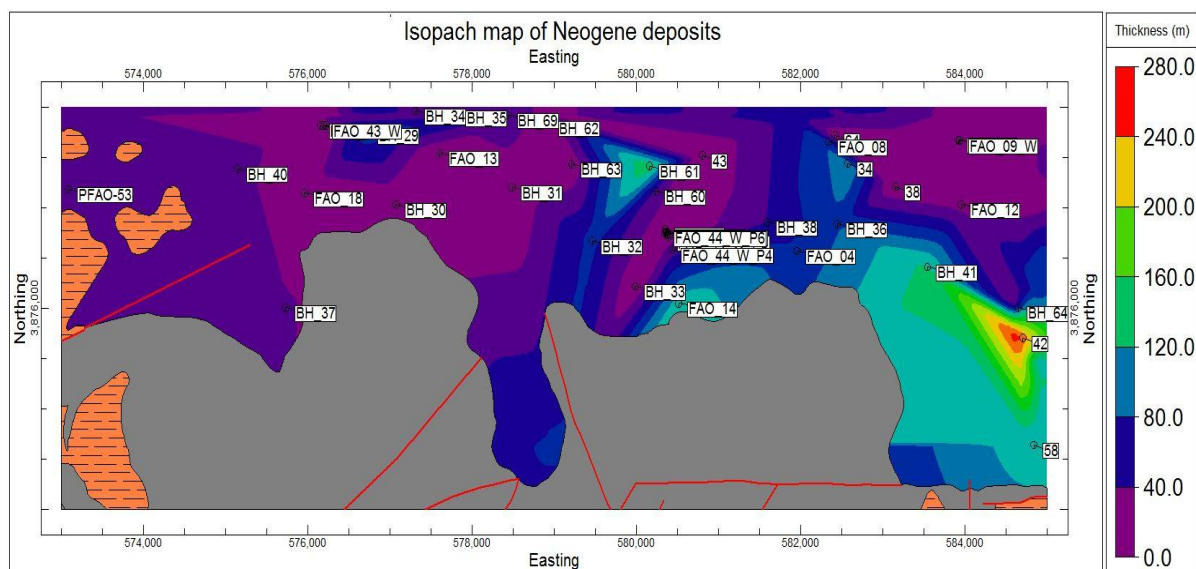
Με την εντολή αυτή δημιουργείται ένας δισδιάστατος χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις ισοπαχείς των επιλεγμένων στρωματογραφικών μονάδων. Οι χάρτες ισοπαχών απεικονίζουν το πάχος κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο με καμπύλες οι οποίες συνδέουν τα σημεία ίσου πάχους του στρώματος.

- Από το κύριο menu επιλέγεται διαδοχικά Stratigraphy>Stratigraphic Thicknesses>2-Dimensional (Isopach). Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών με το οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις κατασκευής και απεικόνισης του χάρτη.



Εικόνα Π.35 Εντολές για την κατασκευή ενός χάρτη ισοπαχών.

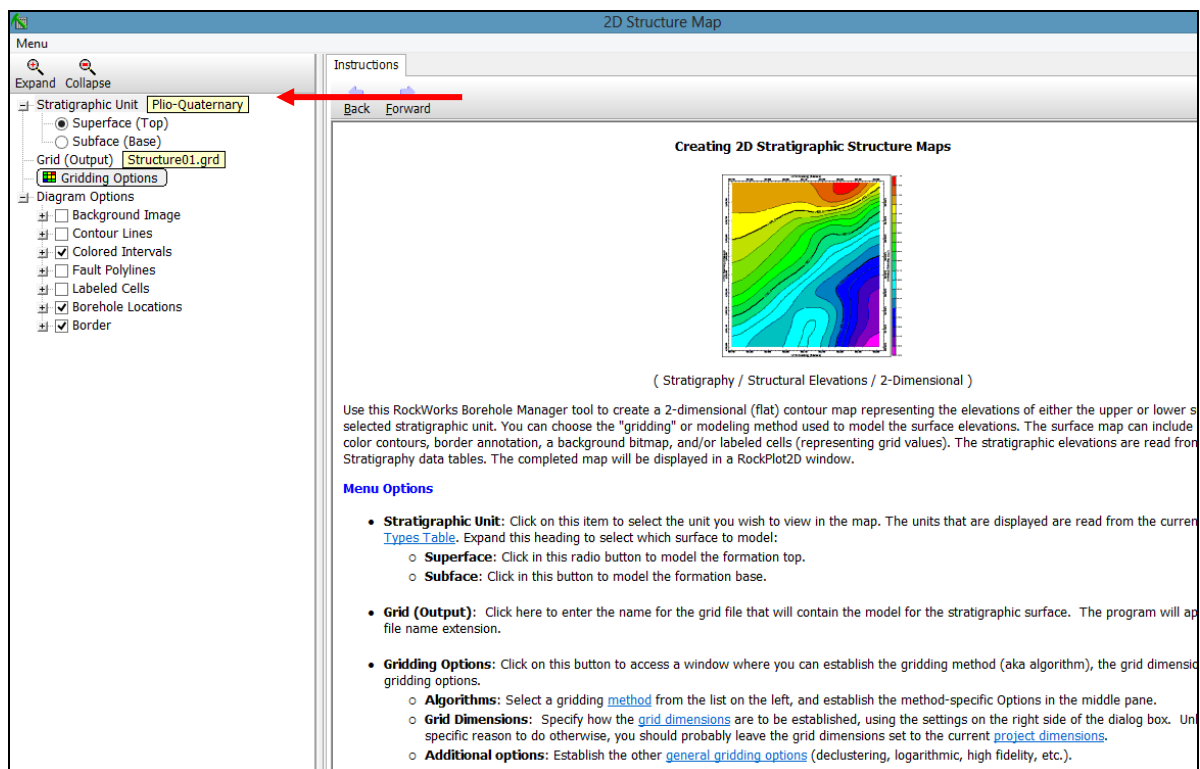
- Στην επιλογή Superface / Subface Options γίνεται ο ορισμός των επιθυμητών στρωματογραφικών ενοτήτων εκ των οποίων θα προκύψει ο χάρτης ισοπαχών. Στο πεδίο Unit Top επιλέγετε η ανώτερη ενότητα που θα χρησιμοποιηθεί και στο Unit Base η κατώτερη ενότητα.
- Η επιλογή Gridding options ρυθμίζεται με παρόμοιο τρόπο όπως στις εντολές δημιουργίας Stratigraphy model.
- Στο πεδίο Save Grid Name δίνεται το επιθυμητό όνομα στον χάρτη ισοπαχών. Το αρχείο θα έχει κατάληξη .grd
- Η επιλογή Diagram Options αφορά τις ρυθμίσεις σχεδίασης του χάρτη.
- Η επιλογή Contour Lines δημιουργεί γραμμή περιγράμματος των ισοπαχών η μορφή της οποίας καθορίζεται στο πεδίο Contour Options. Ενώ στο πεδίο Contour options ρυθμίζονται οι υποδιαιρέσεις τις κλίμακας των παχών του χάρτη.
- Η εντολή Colored Intervals χρησιμοποιείται για να αναδείξει με χρώματα τις ισοπαχείς περιοχές του χάρτη.
- Η επιλογή Plot Color Legend δημιουργεί επεξηγηματικό υπόμνημα με τις αντίστοιχες επιλογές για την διαμόρφωση του.
- Πατώντας Process δημιουργείται ο χάρτης ισοπαχών.



Εικόνα Π.36 Χάρτης ισοπαχών καμπύλων Νεογενών αποθέσεων

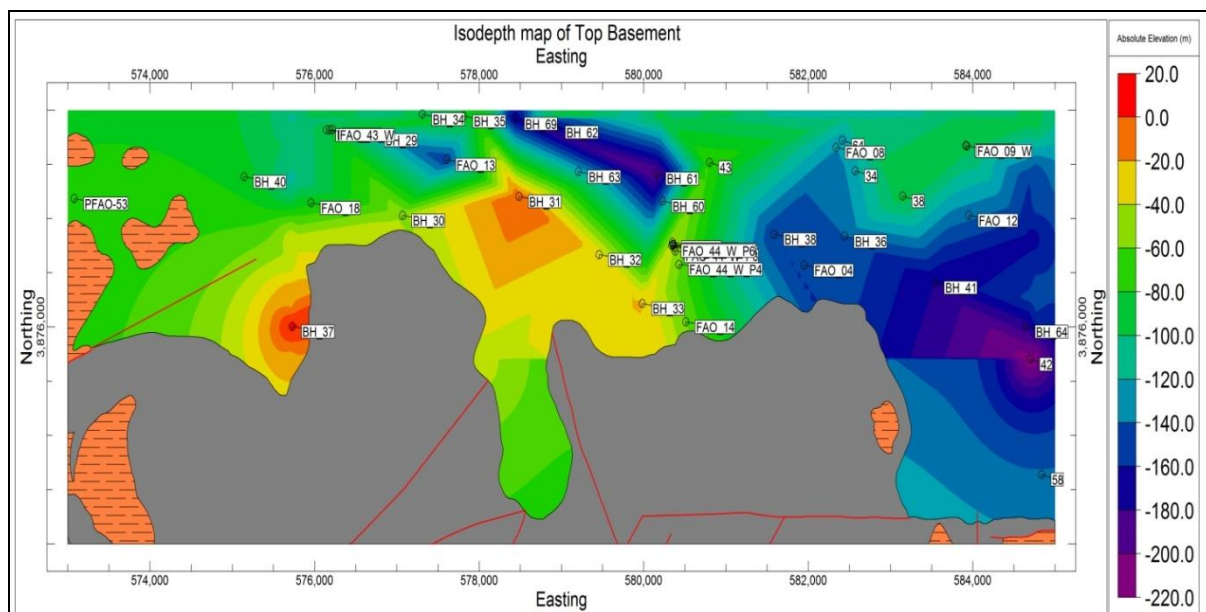
Structural Elevations

Με την εντολή αυτή δημιουργείται από το στρωματογραφικό μοντέλο, ένας δισδιάστατος χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις ισοβαθείς των επιλεγμένων ορίων των στρωματογραφικών μονάδων. Οι χάρτες ισοβαθών απεικονίζουν το βάθος στο οποίο συναντάται το ανώτερο ή το κατώτερο όριο κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο, με καμπύλες οι οποίες συνδέουν τα σημεία ίσου βάθους του ορίου του στρώματος.



Εικόνα Π.37 Εντολές για την κατασκευή ενός χάρτη ισοβαθών.

- Από το κύριο μενού Stratigraphy επιλέγεται διαδοχικά Stratigraphy>Structural Elevations>2-Dimensional. Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών με το οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις κατασκευής και απεικόνισης του χάρτη.
- Στην επιλογή Stratigraphic Unit επιλέγεται η στρωματογραφική ενότητα από την οποία θα εξαχθεί ο χάρτης ισοπαχών, ενώ από τις επιλογές Superface (Top)/Subface (Base) επιλέγεται η ανώτερη/κατώτερη επιφάνεια της ενότητας η οποία θα χαρτογραφηθεί.
- Η επιλογή Gridding options ρυθμίζεται με παρόμοιο τρόπο όπως στις εντολές δημιουργίας Stratigraphy model
- Οι επιλογές Contour Lines, Colored Intervals, Borehole locations ρυθμίζονται όπως έχει ήδη περιγραφεί.
- Πατώντας Process δημιουργείται ο χάρτης ισοβαθών ανώτερης ή κατώτερης επιφάνειας μιας στρωματογραφικής ενότητας.



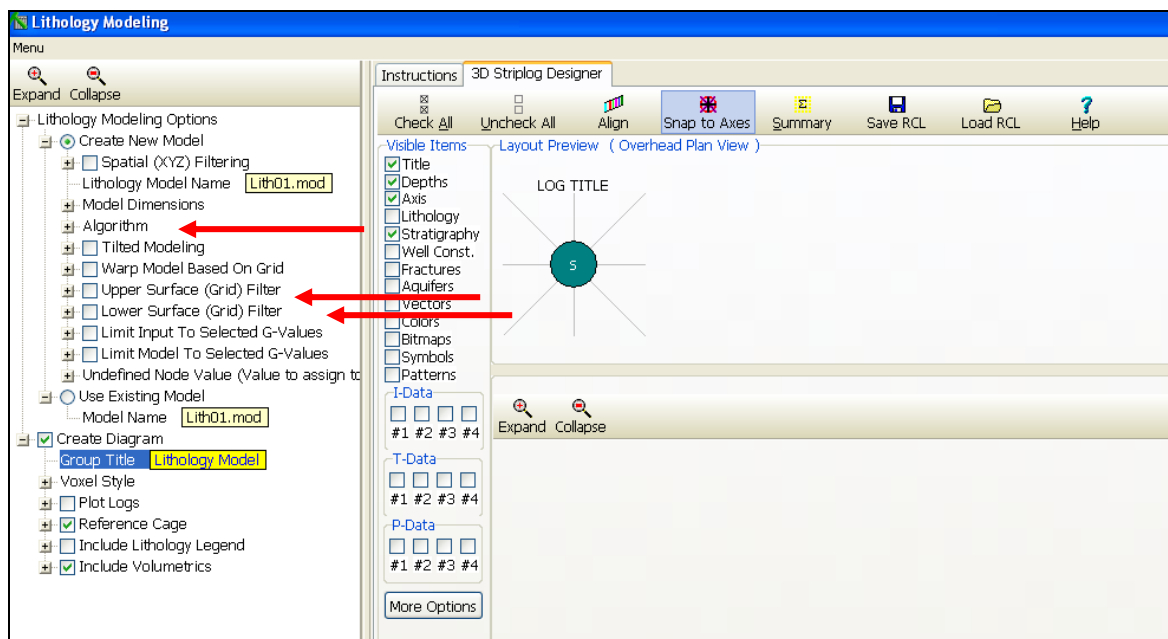
Εικόνα Π.38 Χάρτης ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου, με τις δεδομένες γεωτρήσεις

Π.4.4 Το κύριο menu Lithology

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των γεωτρήσεων και πιο συγκεκριμένα αυτά που έχουν προθύστερα εισαχθεί στο κεντρικό menu Borehole Utilities στο πεδίο Lithology και ενός αλγορίθμου, το λογισμικό είναι δυνατό να δημιουργήσει τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα.

Model

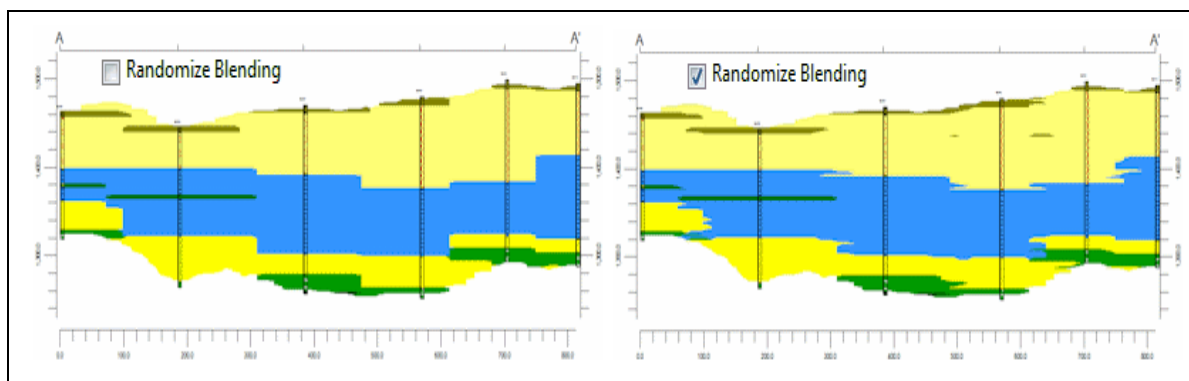
Για τη δημιουργία λιθολογικού μοντέλου από το κύριο menu επιλέγεται διαδοχικά Lithology>Model. Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών με τις απαιτούμενες ρυθμίσεις για τη δημιουργία του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου.



Εικόνα Π.39 Παραθύρο ρυθμίσεων για τη δημιουργία τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου

- Στο αριστερό πεδίο ρυθμίσεων του παραθύρου επιλογών η εντολή Create new model δημιουργεί ένα νέο λιθολογικό μοντέλο το όνομα του οποίου εισάγεται στο πεδίο Lithology model name. Τα λιθολογικά μοντέλα αποθηκεύονται ως αρχεία με κατάληξη .mod .
- Model Dimensions: Στο πεδίο αυτό καθορίζονται οι διαστάσεις του μοντέλου. Επιλέγοντας Hardwire Project Dimensions το λογισμικό ορίζει ως διαστάσεις του μοντέλου τις διαστάσεις του menu Project Dimensions. Σε αντίθετη περίπτωση οι διαστάσεις μπορούν να οριστούν και χειροκίνητα από την επιλογή Variable (data specific) Dimensions.
- Algorithm: Η εντολή αυτή επιλέγει τον κατάλληλο αλγόριθμο που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή το μοντέλου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Lithoblending με τις παρακάτω επιλογές:

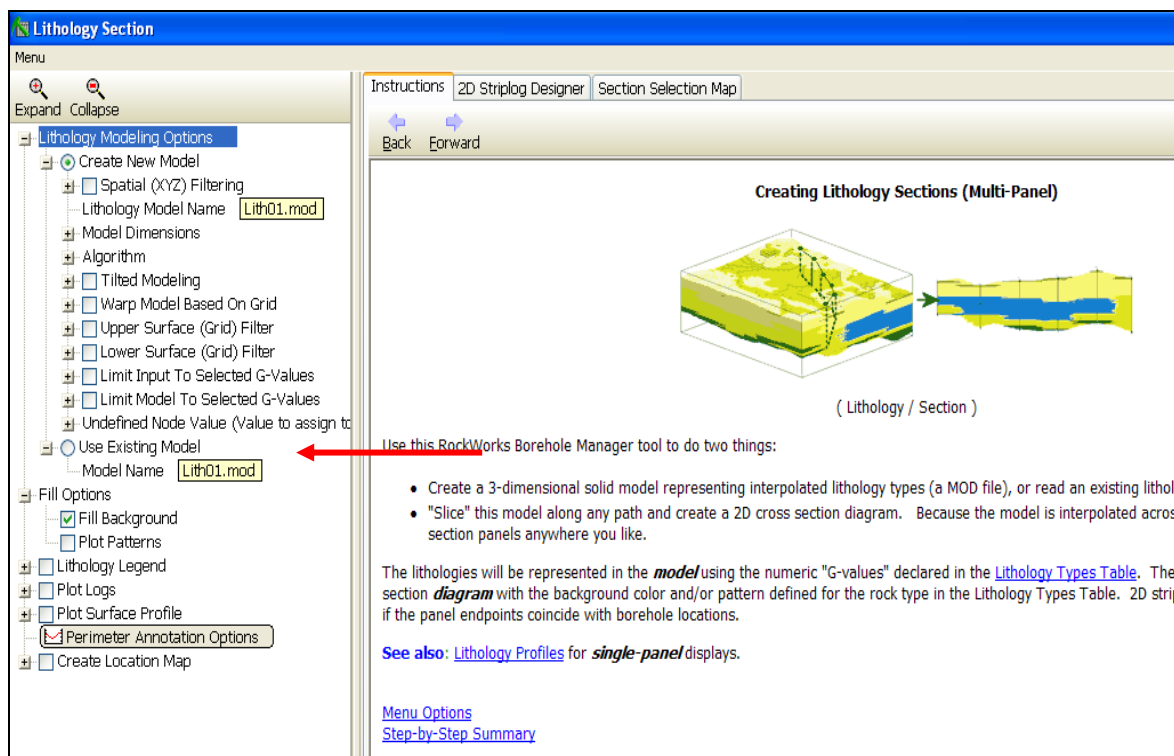
Randomize Blending: η εντολή αυτή ελαχιστοποιεί τις ασυνέχειες. Αν επιλεγεί η μέγιστη ακτίνα αναζήτησης γύρω από τις γεωτρήσεις θα διαφέρει ελαφρώς από το βάθος. Αυτό δίνει την αίσθηση ενός πιο «αναμεμιγμένου» μοντέλου λιθολογίας, το οποίο προσεγγίζει ικανοποιητικότερα την πραγματικότητα. Ωστόσο, επειδή είναι μια τυχαιοποιημένη διαδικασία, σε διαδοχικά λιθολογικά μοντέλα δημιουργημένα από τα ίδια δεδομένα το αποτέλεσμα αυτής της εντολής θα είναι λίγο διαφορετικό.



Εικόνα Π.40 Η χρήση της εντολής Randomize Blending (εικόνα από tutorial Rockworks)

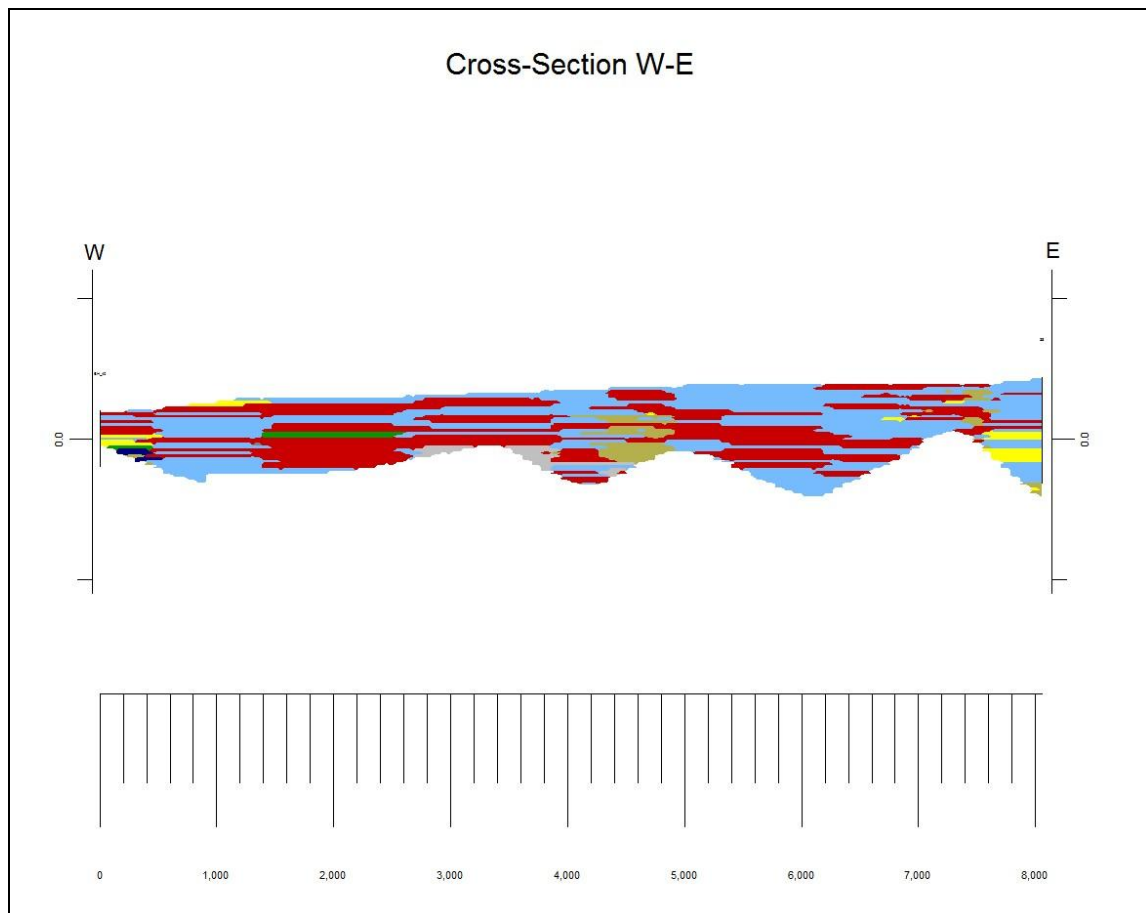
Interpolate Outliers: Με τη ρύθμιση αυτή το λογισμικό προεκτείνει τις λιθολογίες των περιφερειακών γεωτρήσεων μέχρι τα χωρικά άκρα της περιοχής μελέτης. Αν δεν ενεργοποιηθεί, τότε οι οριακές κυψελίδες, οι οποίες τοποθετούνται πέρα από μian απόσταση αποκοπής, θα έχουν μηδενική τιμή G-value, με αποτέλεσμα μην εμφανίζονται στο τελικό λιθολογικό μοντέλο. Ως απόσταση αποκοπής (cutoff distance) ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών, γειτονικών γεωτρήσεων.

- Upper Surface (Grid) Filter και Lower Surface (Grid) Filter: Οι εντολές αυτές τοποθετούν ως ανώτερη επιφάνεια του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου οποιοδήποτε αρχείο μιας επιφάνειας που αντιπροσωπεύει το ανώτερο (upper) όριο και ως κατώτερη επιφάνεια του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου οποιοδήποτε αρχείο μιας επιφάνειας που αντιπροσωπεύει το κατώτερο (lower) όριο. Στο πεδίο Manual ορίζεται χειροκίνητα το αρχείο .grd των επιφανειών αυτών. Και στα δύο αυτά πεδία είναι δυνατό ως ανώτερη και κατώτερη επιφάνεια να χρησιμοποιηθούν τα αρχεία .grd που έχει δημιουργήσει το λογισμικό κατά τον σχεδιασμό του λιθολογικού μοντέλου. Επίσης στο Upper Surface (Grid) Filter μπορεί να εισαχθεί το αρχείο .grd της τοπογραφίας.
- Στη ρύθμιση Diagram Options επιλέγεται το Reference Cage για την εισαγωγή κελιού αναφοράς και των αξόνων, στο τρισδιάστατο διάγραμμα.
- Include Lithology Legend: Ενεργοποιώντας το πεδίο αυτό εισάγεται στο μοντέλο υπόμνημα που περιλαμβάνει τους λιθολογικούς τύπους με τον αντίστοιχο συμβολισμό τους, όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.



Εικόνα Π.42 Παράθυρο εντολών για τη δημιουργία λιθολογικού profile τύπου Section

- Στο πεδίο Lithology Modeling Options η εντολή Use Existing Model επιλέγει το όνομα του μοντέλου με βάση το οποίο θα δημιουργηθεί το profile τύπου Section. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα και σε αυτό το παράθυρο επιλογών να δημιουργήσει ένα λιθολογικό μοντέλο από το οποίο θα φτιάξει το Section. Οι ρυθμίσεις για τη δημιουργία του μοντέλου είναι οι ίδιες με αυτές που υπάρχουν και στην επιλογή Lithology>Model.
- Η εντολή Fill Background και Plot Patterns αφορούν τον τρόπο που θα απεικονιστούν οι διαφορετικοί λιθολογικοί τύποι και βασίζονται στο Lithology Types Table.
- Η ρύθμιση των εντολών Lithology Legend, Plot Logs, Plot Surface Profile, Create Location Map έχει αναλυθεί προηγουμένως τόσο στην δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου όσο και στην εντολή Multi-Log Profile.
- Στο δεξί μέρος του παράθυρου επιλογών υπάρχουν οι καρτέλες 2D Striplog Designer με ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές που έχουν αναλυθεί στο menu Striplogs. Ενώ στην καρτέλα Section Selection Map εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στην οποία σχεδιάζεται η γραμμή του section.
- Πατώντας Process δημιουργείται μια τομή τύπου Section.

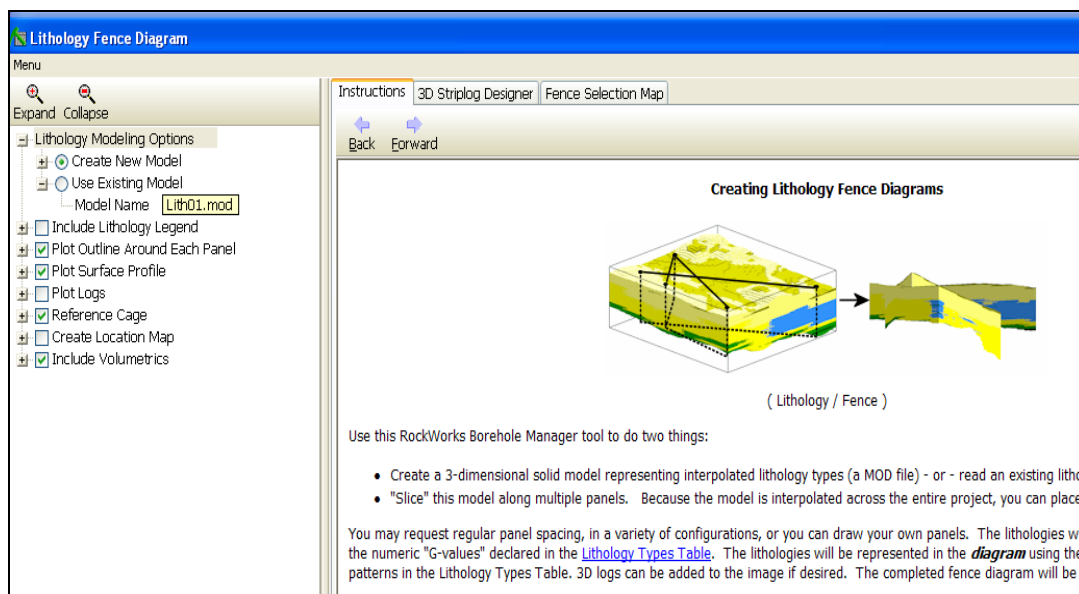


Εικόνα Π.43 Λιθολογικό profile τύπου Section

Fence

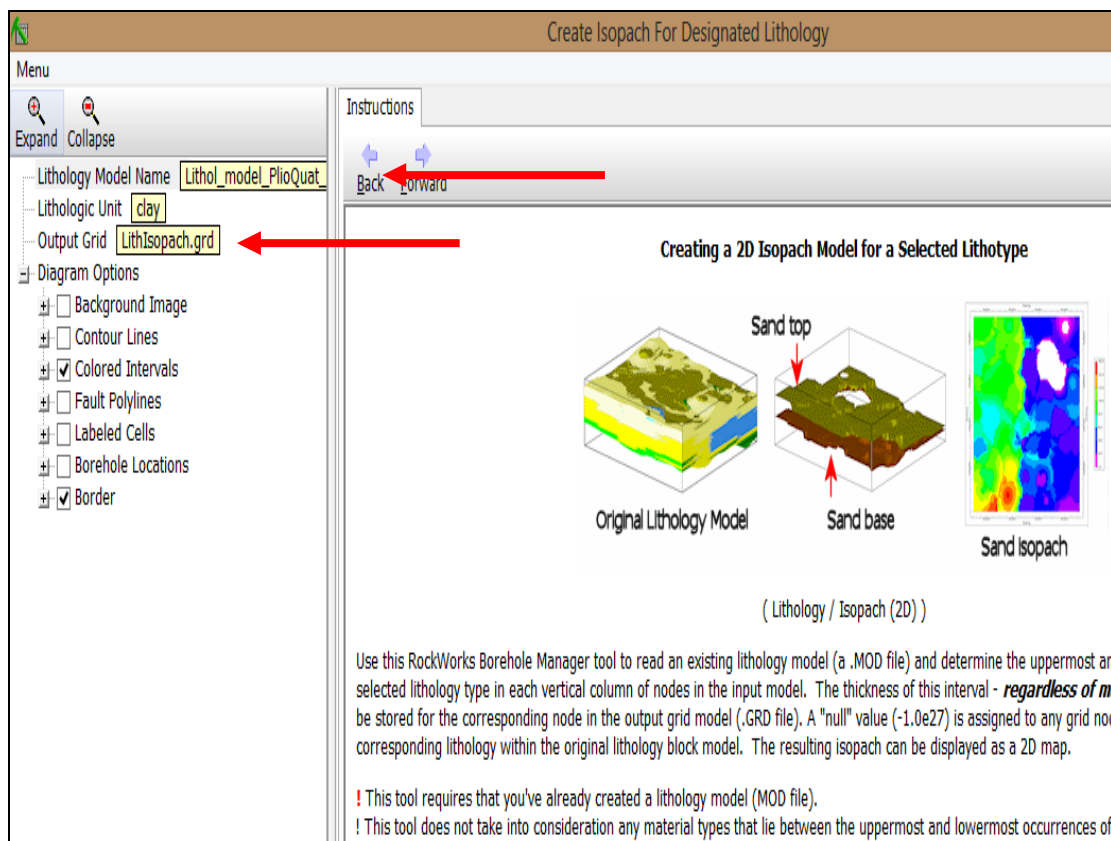
Τα διαγράμματα Fence διαφέρουν από τα προηγούμενα στην δυνατότητα που έχει το λογισμικό με την εντολή αυτή να κατασκευάζει πολλαπλά προφίλ σε οποιαδήποτε σημεία της περιοχής μελέτης, που είναι δυνατό να τέμνονται μεταξύ τους ή να είναι παράλληλα και τα οποία προβάλλονται σε τρεις διαστάσεις.

- Τα διαγράμματα τύπου Fence δημιουργούνται επιλέγοντας από το κύριο menu Lithology>Fence. Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών στο οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις για την κατασκευή τύπου Fence.



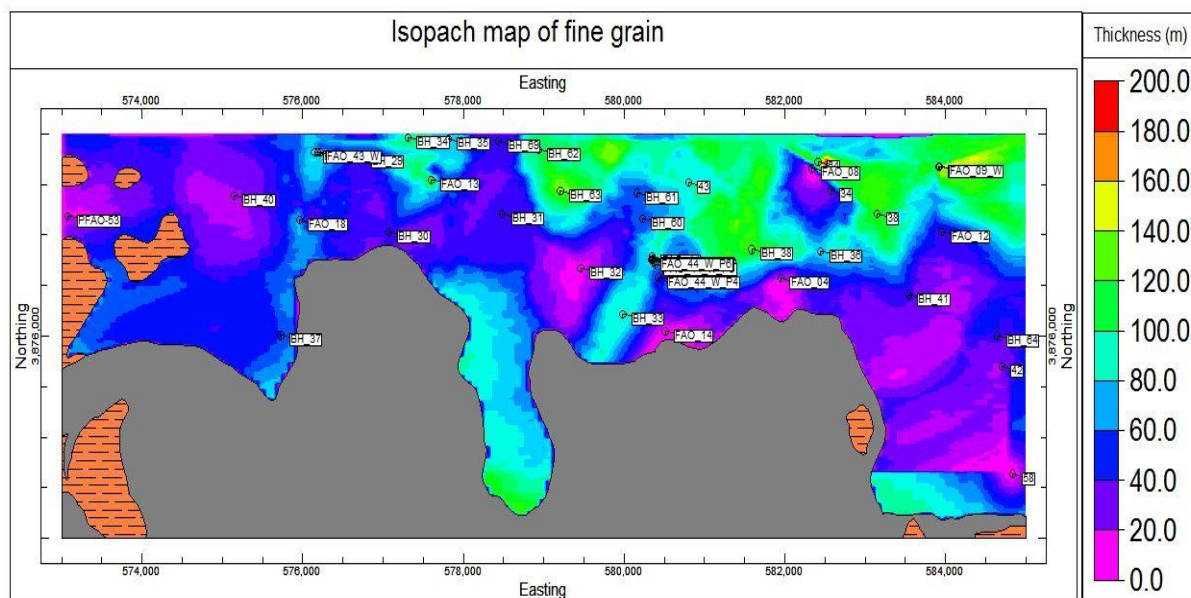
Εικόνα Π.44 Ρυθμίσεις εντολής Fence

- Στο αριστερό μέρος του παραθύρου εντολών το πεδίο Lithology Modeling Options οι ρυθμίσεις γίνονται όπως ακριβώς αναφέρθηκαν στο πεδίο Lithology>Section.
- Η ρύθμιση των εντολών Lithology Legend, Plot Logs, Plot Surface Profile, Create Location Map, Reference Cage έχει αναλυθεί προηγουμένως τόσο στην δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου όσο και στην εντολή Multi-Log Profile.
- Plot Outline Around Each Panel: Η εντολή αυτή επιλέγεται για να δημιουργηθεί περιμετρικά του προφίλ Fence ένα τρισδιάστατο πλέγμα.
- Στο δεξί μέρος του παράθυρου επιλογών υπάρχουν οι καρτέλες 3D Striplog Designer με ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές που έχουν αναλυθεί στο menu Striplogs. Ενώ στην καρτέλα Fence Selection Map εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στην οποία σχεδιάζεται η γραμμή του profile τύπου Fence.
- Πατώντας Process δημιουργείται μια τομή τύπου Fence.



Εικόνα Π. 46 Ρυθμίσεις εντολής Isopach

- Στο πεδίο Lithology Model Name εισάγεται το όνομα του λιθολογικού μοντέλου που έχει δημιουργηθεί προηγουμένως και από το οποίο θα εξαχθεί ο χάρτης ισοπαχών (αρχείο .mod).
- Στο πεδίο Output Grid εισάγεται το όνομα που επιθυμεί ο χρήστης να δώσει στο αρχείο του χάρτη.
- Η εντολή Colored Intervals χρησιμοποιείται για να αναδείξει με χρώματα τις ισοπαχείς περιοχές του χάρτη.
- Στο πεδίο Border και Border Options γίνονται οι ρυθμίσεις του πλαισίου που περιβάλλει τον χάρτη όπως οι λεζάντες προσανατολισμού, οι διαστάσεις κ.ά.
- Πατώντας Process δημιουργείται ο χάρτης ισοπαχών.

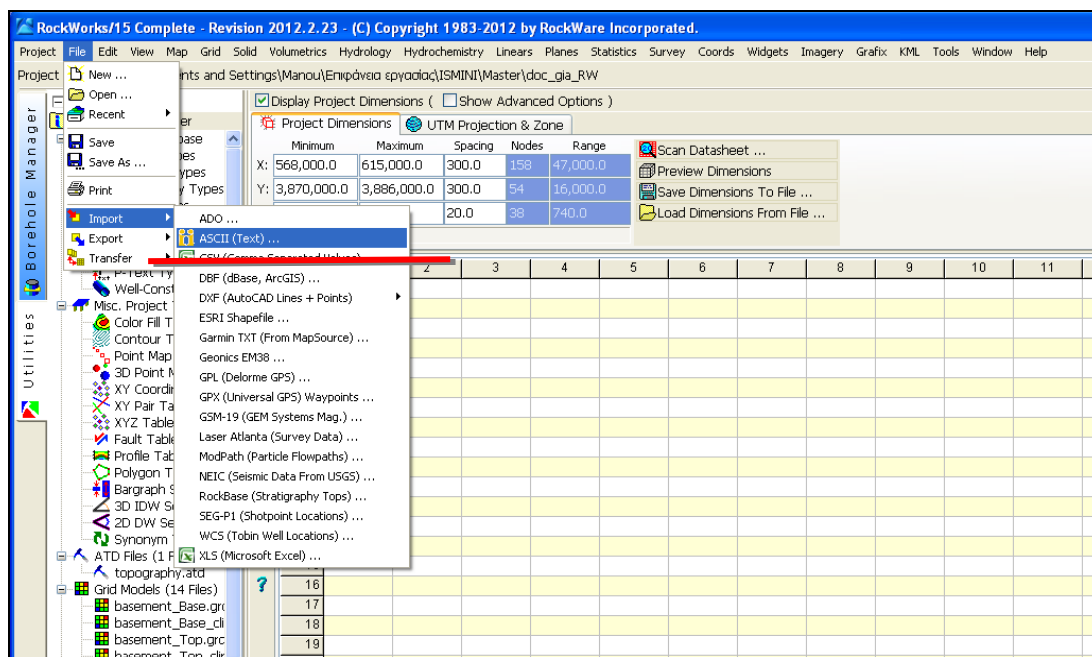


Εικόνα Π. 47 Χάρτης ισοπαχών των λεπτόκοκκων Πλειο- Τεταρτογενών αποθέσεων, με το περίγραμμα του υποβάθρου και τις δεδομένες γεωτρήσεις

Π.5 Η υποσελίδα Rock Ware Utilities

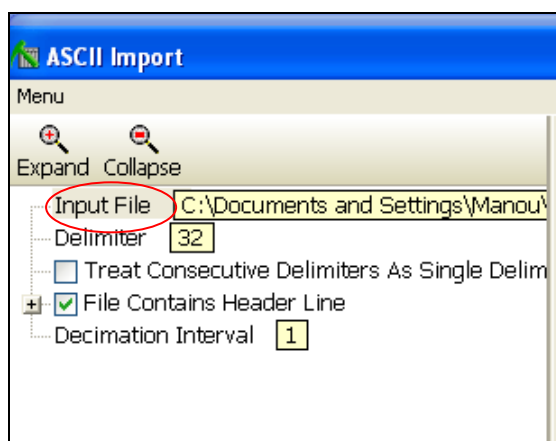
Η υποσελίδα Utilities του λογισμικού Rockworks 15 αποτελεί ένα παράθυρο εισαγωγής δεδομένων υπό μορφή υπολογιστικού φύλλου. Η μορφή του είναι παρόμοια με αυτής του Microsoft Office Excel με διαφοροποιημένες λειτουργίες.

Τα δεδομένα που μπορούν να εισαχθούν είναι ποικίλα. Είναι δυνατό να εισαχθούν συντεταγμένες x,y και υψομετρικά δεδομένα z για τη δημιουργία τοπογραφικών χαρτών ή και ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DTM), υδρολογικά και υδροχημικά δεδομένα για τη δημιουργία διαγραμμάτων όπως διαγράμματα ροής, river, stiff κ.ά., τεκτονικά δεδομένα όπως παρατάξεις και διευθύνσεις κλίσεων για την κατασκευή στερεοδιαγραμμάτων και πολλά άλλα. Γενικότερα, στην υποσελίδα αυτή εισάγονται δεδομένα που δεν αφορούν γεωτρητικά και άλλα αντίστοιχα δεδομένα βάθους δεδομένου ότι αυτά εισάγονται στην υποσελίδα Borehole Manager.



Εικόνα Π.49 Παράθυρο εισαγωγής αρχείου

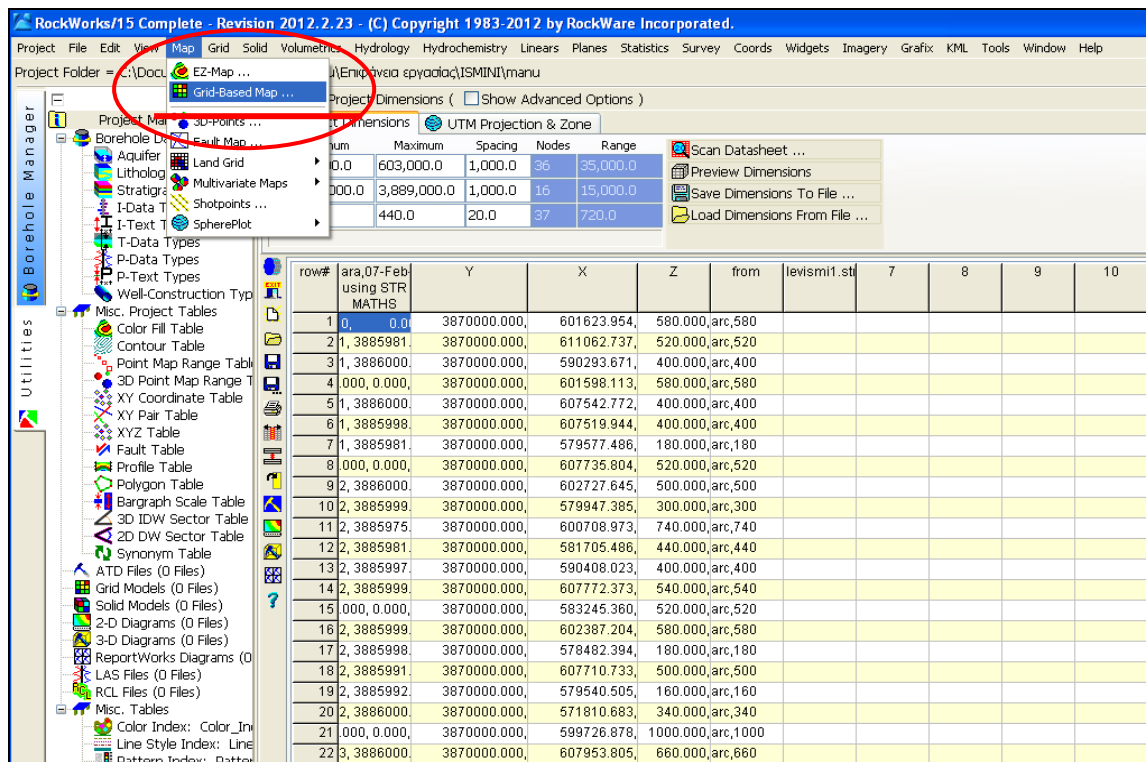
- Έπειτα ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου στο οποίο αναζητούμε το αρχείο που μας ενδιαφέρει. Στην παράμετρο Delimiter καθορίζεται το σύμβολο που διαχωρίζει τα νούμερα στο ASCII αρχείο. Πατώντας πάνω στο Delimiter παρουσιάζονται όλες οι δυνατότητες επιλογής. Εφόσον το ASCII αρχείο περιέχει επικεφαλίδες για κάθε κατηγορία δεδομένων, τότε τσεκάρουμε την αντίστοιχη επιλογή.



Εικόνα Π.50 Εισαγωγή αρχείου ASCII

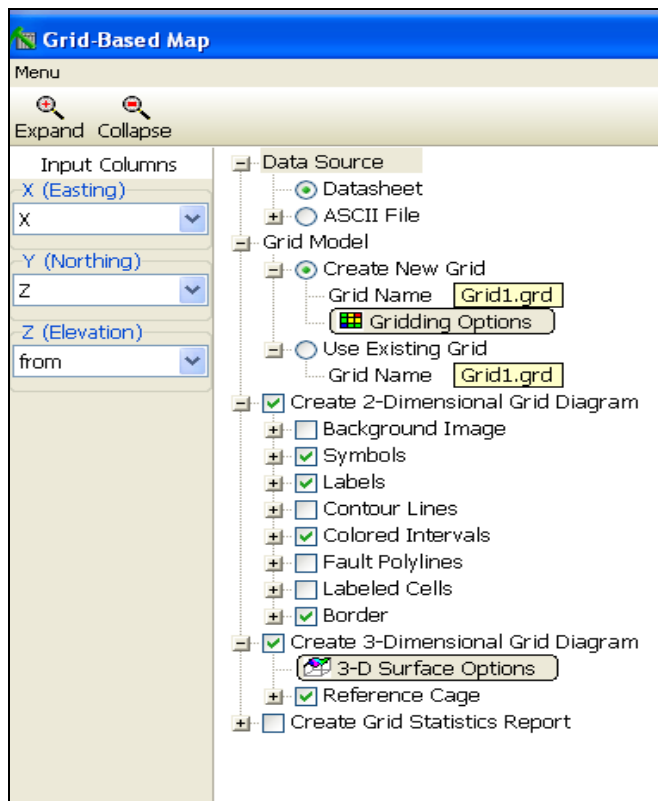
- Πατώντας Process εισάγονται οι συντεταγμένες.

Έχοντας εισάγει τις συντεταγμένες είναι δυνατό να δημιουργηθεί τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους ή και δισδιάστατοι χάρτες. Αυτό γίνεται αν από το βασικό menu επιλεγθεί η εντολή Map>Grid-Based Map.



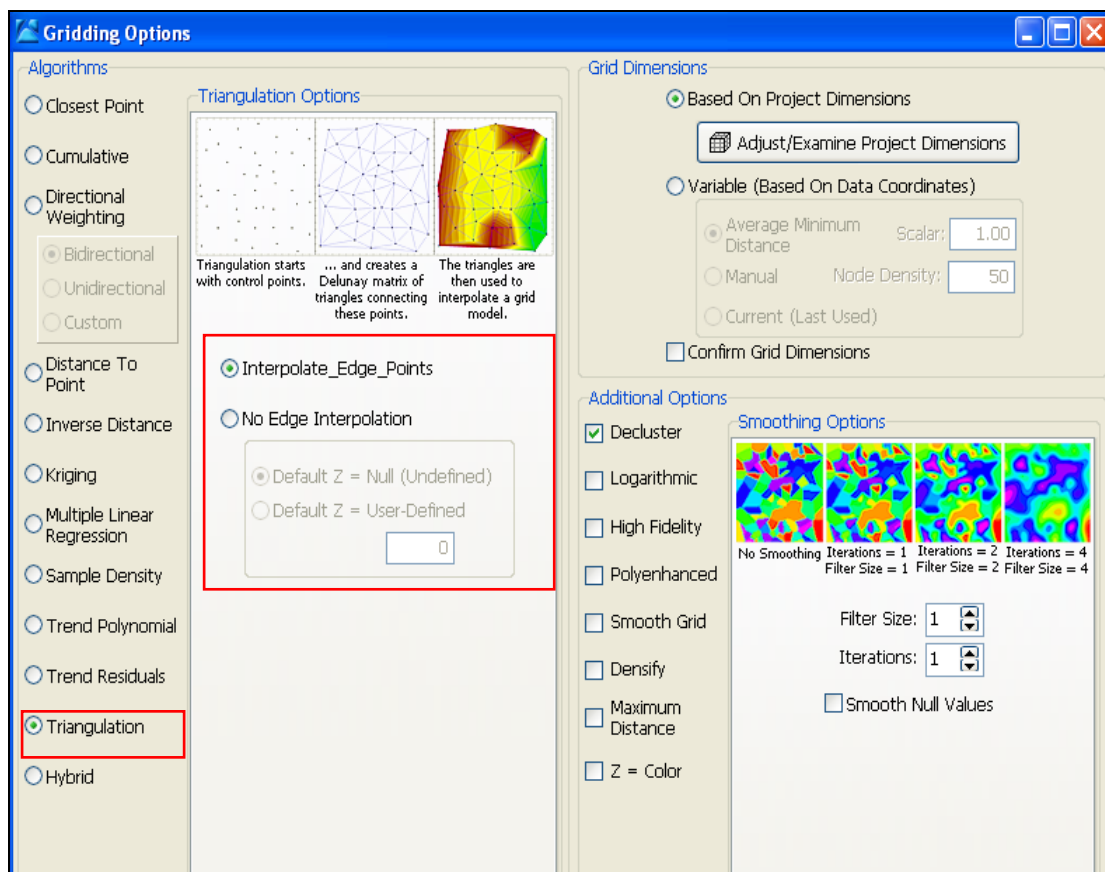
Εικόνα Π.51 Η εντολή σχεδίασης τρισδιάστατου και δισδιάστατου μοντέλου εδάφους

- Η παραπάνω εντολή ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου στο οποίο πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι του χάρτη.



Εικόνα Π.52 Επιλογές εντολής Grid-Based Map

- Αρχικά από την επιλογή Data Source επιλέγεται το Datasheet αφού έχουν εισαχθεί τα δεδομένα στην υποσελίδα Utilities ή σε αντίθετη περίπτωση επιλέγεται εξωτερικό αρχείο δεδομένων. Στην περίπτωση που τα δεδομένα βρίσκονται στο Datasheet τότε πρέπει να καθοριστούν ποιες είναι οι στήλες που περιέχουν τα x,y,z δεδομένα. Ο καθορισμός αυτός γίνεται στην αριστερή πλευρά του παραθύρου και συγκεκριμένα στο Input Columns. Στη συνέχεια για τη δημιουργία νέου μοντέλου πλέγματος επιλέγεται Create New Grid και στο πεδίο Grid Name δίνεται το επιθυμητό όνομα στο μοντέλο καθώς και επιλέγεται σε ποιο φάκελο θα αποθηκευτεί αυτό. Τα αρχεία πλέγματος έχουν την κατάληξη .grd.
- Έπειτα επιλέγεται το Gridding Options και ανοίγει νέο παράθυρο διαλόγου με μια σειρά από εντολές.

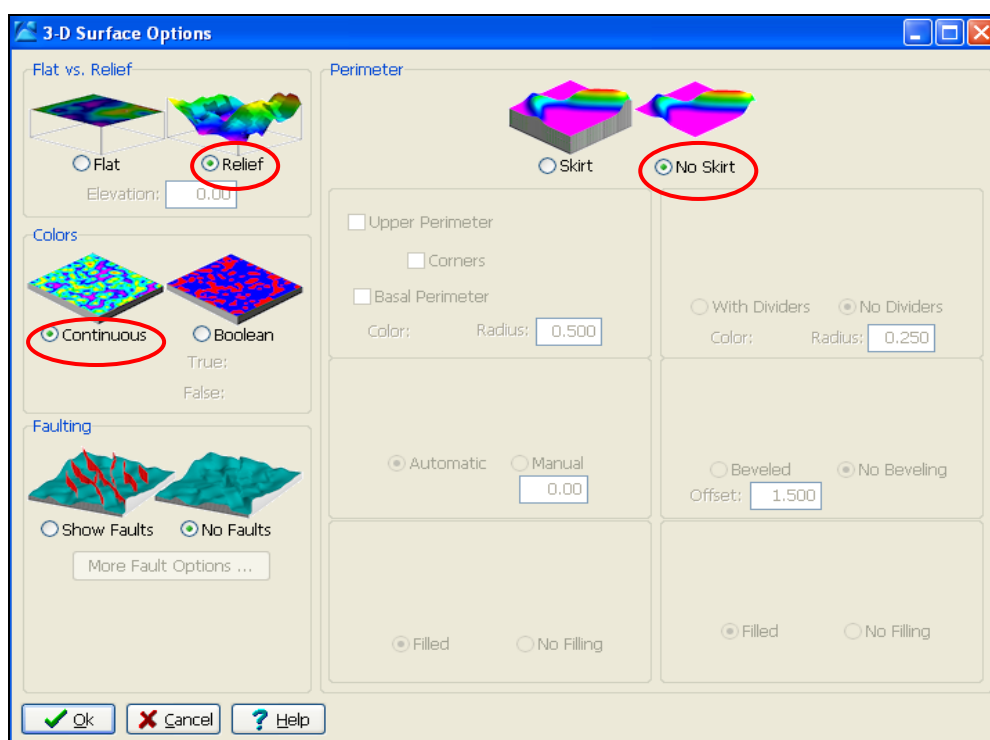


Εικόνα Π.53 Παράθυρο Gridding Options

- Στην κατηγορία Algorithms γίνεται επιλογή του επιθυμητού αλγόριθμου που θα χρησιμοποιηθεί για την παρεμβολή. Επιλέγοντας στην παρούσα εργασία την μέθοδο του τριγωνισμού (Triangulation) ανοίγουν οι επιπλέον ρυθμίσεις του συγκεκριμένου αλγορίθμου.
- Με τις επιλογές Interpolate Edge Points και No Edge Interpolation η επιλέγεται ή όχι ο αυτόματος υπολογισμός των οριακών σημείων του μοντέλου στα οποία δεν υπάρχουν τιμές.
- Στην κατηγορία Grid Dimensions γίνεται ο προσδιορισμός των διαστάσεων. Επιλέγεται Based On Project Dimensions ούτως ώστε να βασίζεται στις διαστάσεις που ορίστηκαν από το πεδίο Project Dimensions.
- Στην κατηγορία Additional Options επιλέχθηκε Decluster, όπου χρησιμοποιείται εάν υπάρχουν συγκεντρωμένα ή διπλά σημεία. Το πρόγραμμα δημιουργεί, πριν από την προσομοίωση, ένα φανταστικό πλέγμα (pre-grid) πάνω από τα σημεία των δεδομένων. Η ανάλυση πλέγματος επιλέγεται στο πεδίο Resolution, όπου συμπληρώνεται ο αριθμός των κελιών του πλέγματος κατά τους δύο άξονες Ανατολή – Δύση και Βορρά -Νότο.

Στην συνέχεια αφού έχουν ολοκληρωθεί οι επιλογές στο παράθυρο Gridding Options, συνεχίζονται οι επιλογές στο κεντρικό Menu του Grid-Based Map.

- Από τις επιλογές Create Grid-2Dimensional Grid Diagram και Create Grid-3Dimensional Grid Diagram δίνεται η δυνατότητα επιλογής κατασκευής δισδιάστατου ή τρισδιάστατου χάρτη αντίστοιχα.
- Για την κατασκευή του τρισδιάστατου επιλέγουμε το Create Grid-3Dimensional Grid Diagram και αμέσως μετά το 3-D Surface Option το οποίο ανοίγει ένα ξεχωριστό παράθυρο διαλόγου στο οποίο θα πρέπει να γίνει ρύθμιση των επιλογών της τρισδιάστατης επιφάνειας εδάφους.

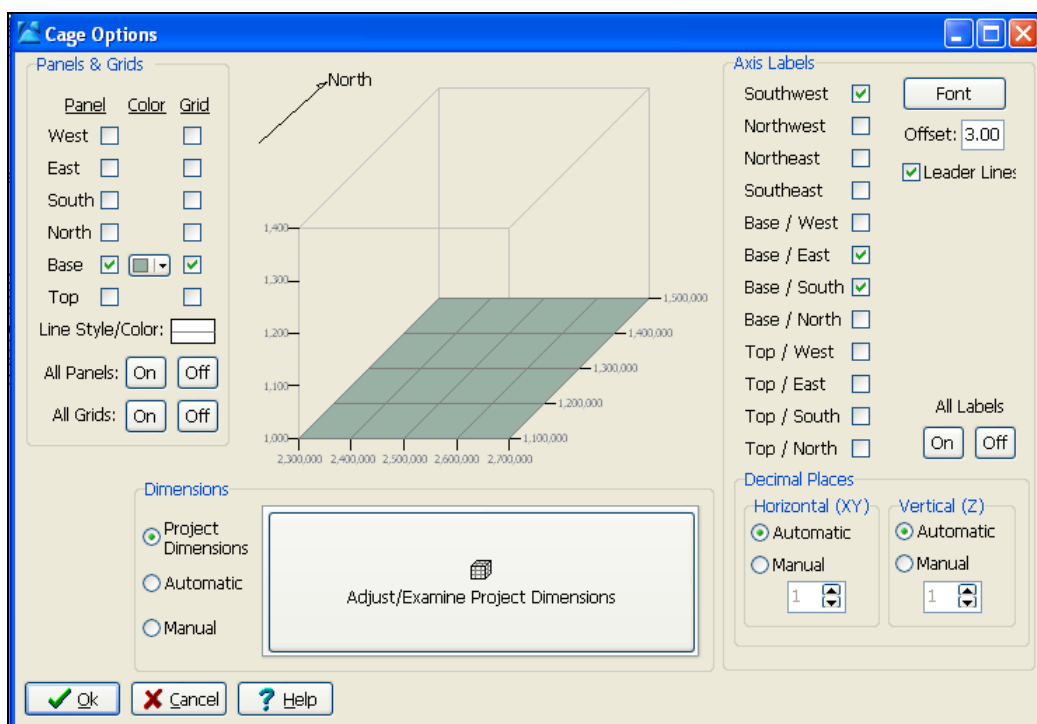


Εικόνα Π.54 Παράθυρο 3-D Surface Options

- Στην επιλογή Flat vs. Relief επιλέγεται Relief προκειμένου η επιφάνεια να απεικονιστεί τρισδιάστατα.
- Στην επιλογή Colors επιλέγεται η εντολή Continuous εάν το πλέγμα περιέχει ένα εύρος τιμών Z και θέλουμε να αναπαρασταθεί από ένα εύρος χρωμάτων. Αντίθετα γίνεται επιλογή της εντολής Boolean εάν το πλέγμα αναπαρίσταται από διάγραμμα Boolean "true/false" μοντέλο grid. Σ' αυτά τα μοντέλα υπάρχουν δύο τιμές το 0 για false και το 1 για true.

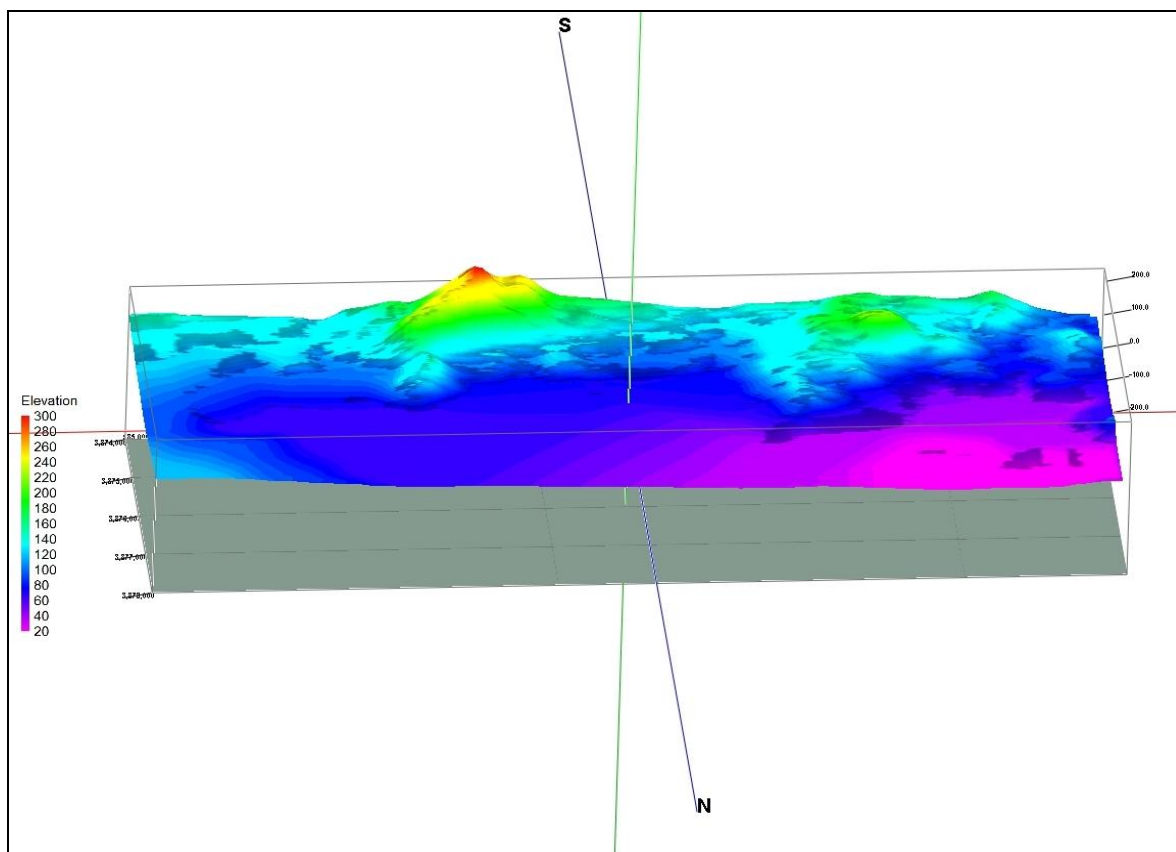
- Στην επιλογή Faulting επιλέγεται, σε περίπτωση που υπάρχουν ρήγματα, να φαίνονται με Show Faulting ή να μην απεικονίζονται με την εντολή No Faults.
- Η επιλογή Skirt εμφανίζει ή όχι στην βάση του τρισδιάστατου μοντέλου, μια περιβάλλουσα επιφάνεια.

Τέλος από το κεντρικό menu του Grid-Based Map δίνεται η δυνατότητα να σχεδιαστεί γύρω από το μοντέλο ένα κελί όπου θα αναφέρονται οι διευθύνσεις του ορίζοντα. Στην εντολή αυτή είναι δυνατό να ρυθμιστούν οι διαστάσεις του κελιού από το πεδίο Dimensions. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι διαστάσεις του χάρτη σαν όρια ή να οριστούν νέες διαστάσεις για το κελί χειροκίνητα.



Εικόνα Π.55 Το παράθυρο επιλογών του κελιού

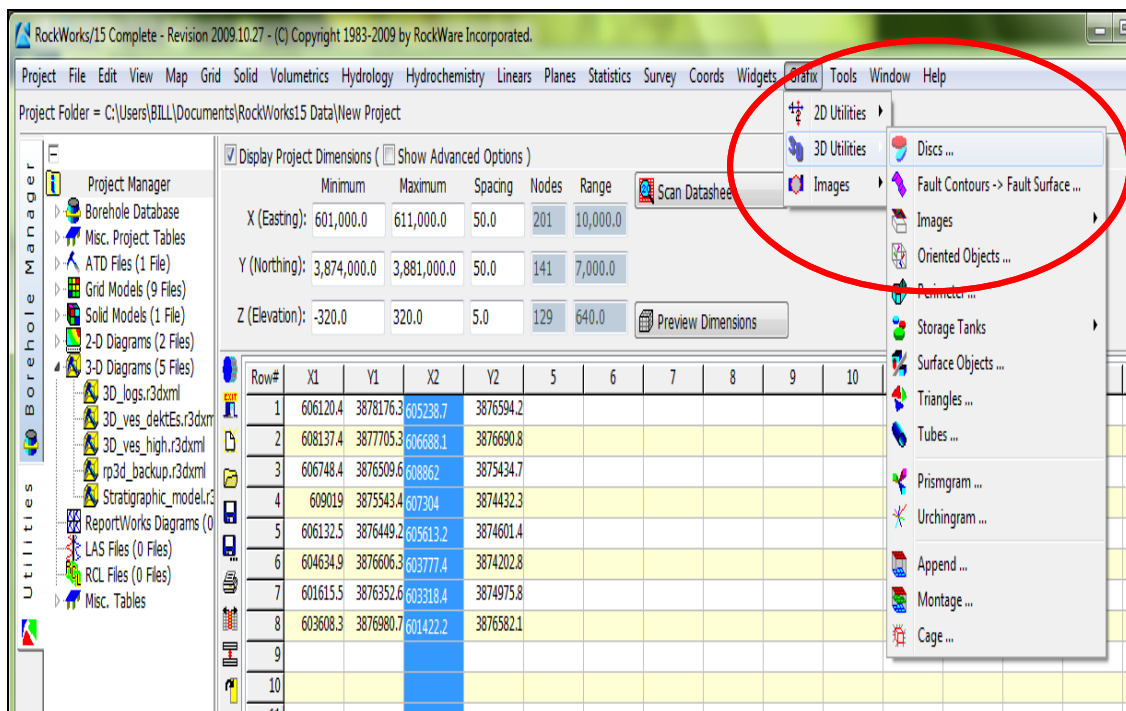
Πατώντας Process, από το κεντρικό menu του Grid-Based Map, δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους.



Εικόνα Π.56 Τρισδιάστατο Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας, με κατακόρυφη υπερύψωση x5.

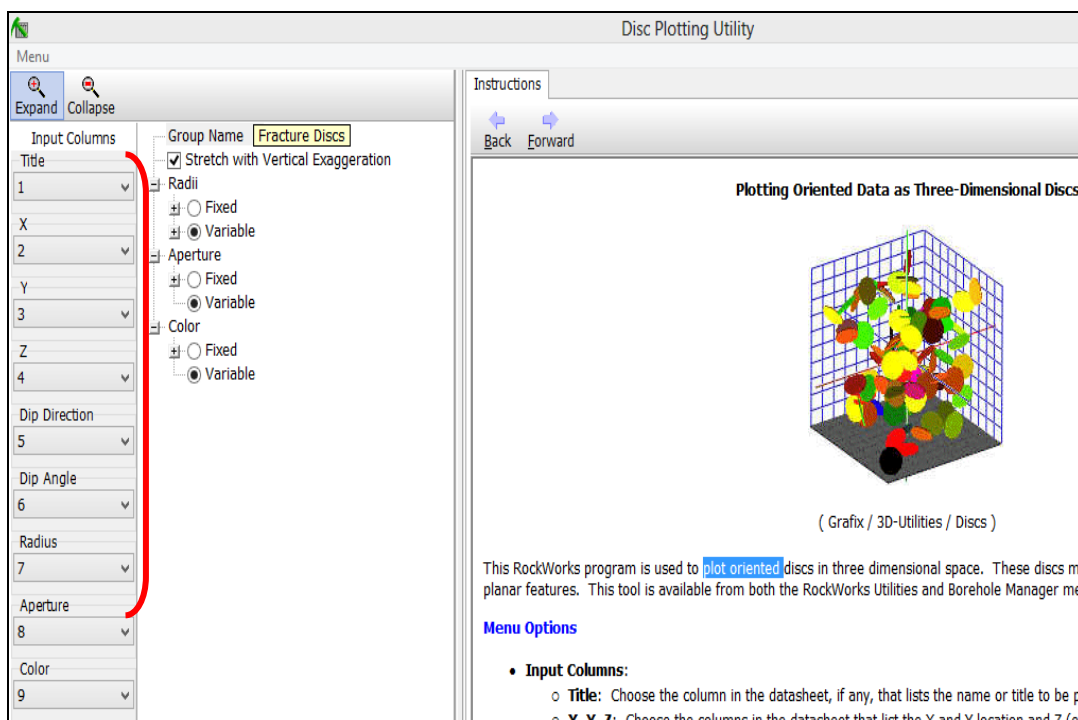
Discs

Εισάγοντας δεδομένα τα οποία αφορούν τις συντεταγμένες των ρηγμάτων που προέκυψαν από τη δημιουργία του στρωματογραφικού μοντέλου, η υποσελίδα Utilities παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας δίσκων στο χώρο. Η επιλογή Discs παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης δίσκων συγκεκριμένου προσανατολισμού, οι οποίοι αναπαριστούν δομές επιφάνειας. Στην παρούσα εργασία, οι επιλογή Discs έγινε με σκοπό την αναπαράσταση ρηγμάτων.



Εικόνα Π.57 Η επιλογή Grafix > 3D Utilities > Discs

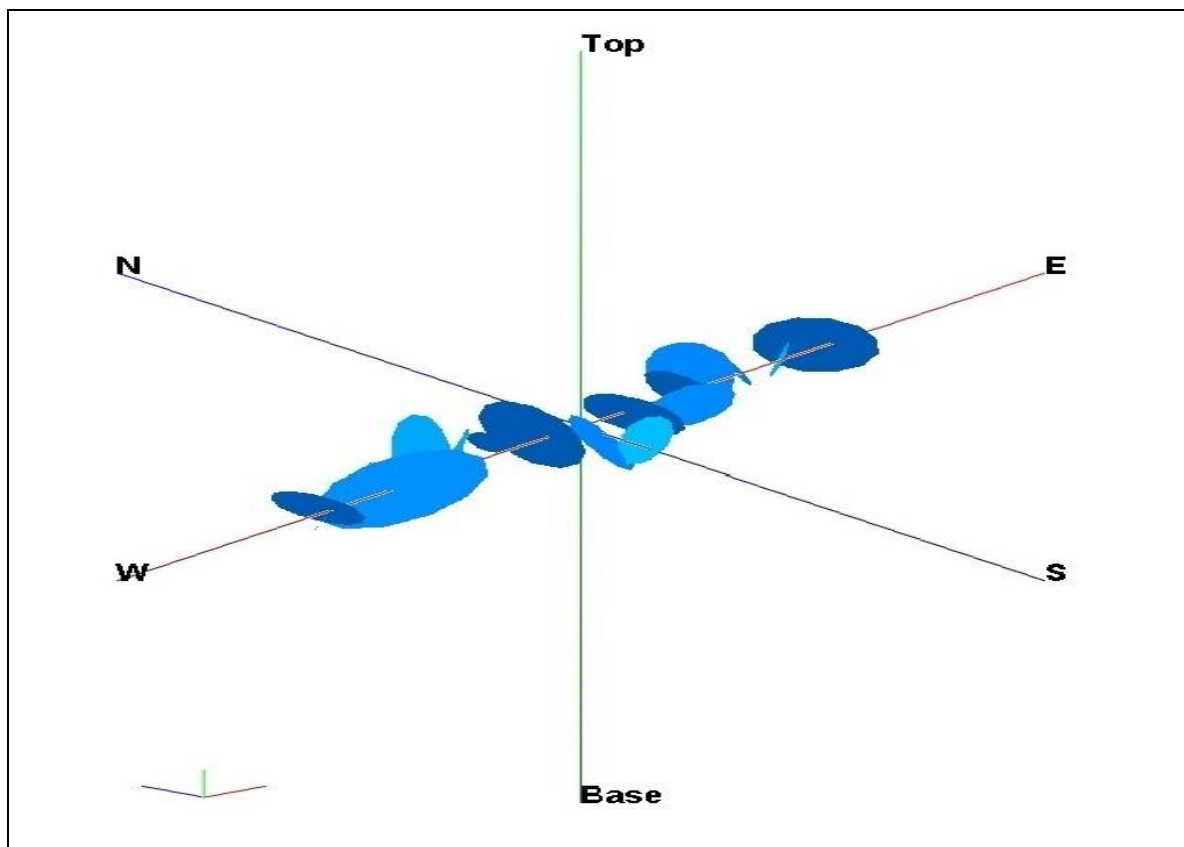
- Από το κύριο menu Utilities επιλέγεται διαδοχικά Grafix > 3D Utilities > Discs. Ανοίγει νέο παράθυρο εντολών με το οποίο γίνονται οι ρυθμίσεις κατασκευής και απεικόνισης των δίσκων που αναπαριστούν τα ρήγματα.



Εικόνα Π.58 Παράθυρο επιλογών Discs

- Στις επιλογές x , y , z εισάγονται οι στήλες από τη σελίδα Utilities με τα δεδομένα που αφορούν τις συντεταγμένες του κεντρικού σημείου των ρηγμάτων που έχουν προκύψει από το στρωματογραφικό μοντέλο.
- Στο πεδίο Dip Directions εισάγεται η κατεύθυνση βύθισης του ρήγματος.
- Στο πεδίο Dip Angle εισάγεται η γωνία βύθισης του ρήγματος.
- Στην επιλογή Radius εισάγεται η ακτίνα του δίσκου που αναπαριστά το δείγμα.

Πατώντας Process δημιουργείται η απεικόνιση των δίσκων στο χώρο.



Εικόνα Π. 59 Τρισδιάστατη απεικόνιση δίσκων που αναπαριστούν τα ρήγματα τα οποία εντοπίστηκαν στην ενότητα των Νεογενών.



Εικόνα Π. 60 Χάρτης αερομαγνητικών του ΙΓ.ΜΕ για την περιοχή μελέτης , (Νικολάου, 1994)