



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

---

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Δημιουργία γεωμετρικού γεωλογικού μοντέλου πιθανού  
υδροθερμικού πεδίου στην Δ. Μεσσαρά με χρήση γεωλογικών  
και γεωφυσικών δεδομένων

**ΚΥΡΙΑΚΗ Γ. ΙΩΑΝΝΟΥ**

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής

Δρ. Νικόλαος Σπανουδάκης (ΕΔΙΠ)

Χανιά, 2018

*Αφιερωμένο στο θείο μου Αντρέα που έφυγε νωρίς,  
και στην οικογένεια μου*

## **ABSTRACT**

At the southwest area of the sedimentary basin of Messaras Plain there are signs for the existence of low enthalpy geothermal reservoirs. In the framework of the present diploma thesis two and three-dimensional lithology and stratigraphy models were employed, for the study of the spatial distribution of Plio-Quaternary and Neogene formations that cover the possible geothermal reservoir. From these models isodepth and isopach maps were extracted, for the different formations. More specifically, isodepth maps of the Neogene - Alpine Background contact and isopachs of the Plio-Quaternary -Neogene formations were extracted.

Next, litho-stratigraphy profiles were extracted and together with the isodepth and isopach maps, aided the detection of possible faults. To achieve this, data from 69 boreholes and 104 electrical soundings were employed. The lithology of each borehole is described in detail, and the electrical resistances are assigned to lithology utilizing data from nearby boreholes. The main goal of this thesis is to extract a precise model of the area's subsurface which will allow the study of the lateral distribution of the Plio-Quaternary and Neogene formations that cover the possible geothermal reservoir and the detection of faults, in the area.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην νοτιοδυτική περιοχή της ιζηματογενούς λεκάνης της Μεσσαράς υπάρχουν ενδείξεις για την ύπαρξη πιθανών γεωθερμικών ταμιευτήρων. Για την εποπτική χωρική κατανομή των πετρωμάτων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας σχηματισμών που καλύπτουν τους πιθανούς γεωθερμικούς ταμιευτήρες στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας με χρήση τρισδιάστατου μοντελοποιητή, κατασκευάστηκαν τρισδιάστατα λιθολογικά και λιθοστρωματογραφικά μοντέλα της περιοχής. Από τα μοντέλα αυτά προέκυψαν χάρτες ισοβαθών και ισοπαχών των διαφορετικής ηλικίας σχηματισμών. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν χάρτες ισοβαθών του Νεογενούς και του αλπικού υποβάθρου και ισοπαχών του Πλειο-τεταρτογενούς και του Νεογενούς. Στη συνέχεια, έχοντας τους χάρτες που προαναφέρθηκαν κατασκευάστηκαν λιθοστρωματογραφικά προφίλ τα οποία μαζί με τους χάρτες αποτελούν ένα μέσο εντοπισμού πιθανών ρηγμάτων. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 69 γεωτρήσεις και 104 βυθοσκοπήσεις. Για την χρήση τους στην μοντελοποίηση στις μεν γεωτρήσεις έγινε λεπτομερής περιγραφή της λιθολογίας, στις δε βυθοσκοπήσεις οι ηλεκτρικές αντιστάσεις αντιστοιχήθηκαν με την χρήση των κοντινότερων γεωτρήσεων σε λιθολογίες. Απώτερος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι με την χρήση υφιστάμενων και νέων γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων για την περιοχή να κατασκευαστεί ένα λεπτομερές και ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής που θα μας επιτρέψει αφενός την εποπτική χωρική κατανομή των πετρωμάτων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας σχηματισμών που καλύπτουν τους πιθανούς γεωθερμικούς ταμιευτήρες, αφετέρου τον εντοπισμό πιθανών ρηγμάτων στην περιοχή.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ.....	11
1.1.Γεωγραφικά χαρακτηριστικά Κρήτης.....	11
1.2. Εισαγωγή στην Γεωλογία - Ελληνίδες Οροσειρές.....	12
1.3.Γεωλογία Κρήτης .....	16
1.4.Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Μεσσαράς.....	18
1.5.Γεωλογία της περιοχής Μεσσαράς .....	20
1.5.1Αλπικοί Σχηματισμοί .....	20
1.5.1.1.Ενότητα Οφιολίθων και κρυσταλλοσχιστωδών .....	21
1.5.1.2.Ενότητα Ωλονού-Πίνδου .....	21
1.5.1.3.Ενότητα Τρίπολης.....	22
1.5.1.4.Ενότητα Φυλλιτών- Χαλαζιτών .....	23
1.5.1.5.Αυτόχθονη- παραυτόχθονη σειρά .....	23
1.5.2. Νεογενείς Σχηματισμοί .....	24
1.5.2.1.Ομάδα Πρίνα.....	25
1.5.2.2.Ομάδα Τεφελίου .....	25
1.5.2.3.Ομάδα Βρυσών .....	30
1.5.2.4.Ομάδα Φοινικιάς.....	31
1.5.2.5.Ομάδα Αγ. Γαλήνης.....	32
1.5.3.Τεταρτογενείς σχηματισμοί .....	33
1.5.4.Γεωλογικές συνθήκες της λεκάνης της Μεσσαράς.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	39
2.1.Εισαγωγή .....	39
2.2.Υδρολογική κατάσταση Κρήτης .....	40
2.3.Υδρογεωλογικοί Σχηματισμοί .....	42
2.3.1.Καρστικοί σχηματισμοί .....	42
2.3.2.Πορώδεις σχηματισμοί .....	43
2.4.Υδρολιθικές Ενότητες λεκάνης της Μεσσαράς.....	43
2.4.1.Καρστικοί σχηματισμοί .....	43
2.4.2.Προσχωματικές αποθέσεις .....	44
2.4.3.Πλειστοκαινικές αποθέσεις .....	44
2.4.4.Νεογενείς σχηματισμοί .....	44
2.4.5.Πλειστοκαινικών αποθέσεων.....	44
2.5.Υδροφορείς Μεσσαράς.....	45

2.5.1.Νεογενής υδροφορέας .....	45
2.5.2.Πλειστοκαινικός υδροφορέας (σχηματισμός Αγ. Γαλήνη) .....	46
2.5.3.Αλλουβιακός υδροφορέας .....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ .....	49
3.1.Γενικά .....	49
3.2. Συνθήκες δημιουργίας γεωθερμικής ενέργειας .....	49
3.3. Γεωθερμικά συστήματα .....	50
3.3.1. Γενικά.....	50
3.3.2. Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων .....	50
3.4. Γεωθερμική Έρευνα.....	52
3.5.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατά τη χρήση γεωθερμικών συστημάτων .....	53
3.6. Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα .....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	58
4.1.Εισαγωγή .....	58
4.2.Ηλεκτρικές Μέθοδοι .....	59
4.2.1.Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης .....	59
4.2.1.1Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση .....	59
4.2.1.2.Παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση .....	60
4.2.2.Γεωηλεκτρική Διασκόπηση .....	61
4.2.2.1. Μέθοδοι Γεωηλεκτρικής Διασκόπησης .....	61
4.2.2.1.1.Ηλεκτρική Βυθοσκόπηση .....	61
4.2.2.1.2.Τρόπος πραγματοποίησης της μεθόδου .....	64
4.2.2.1.3.Διαδικασία ηλεκτρικής βυθοσκόπησης .....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	66
5.1.Εισαγωγή .....	66
5.2.Εφαρμογές Προσομοίωσης.....	70
5.3.Λογισμικά Πακέτα Προσομοίωσης .....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	73
6.1. Εισαγωγή Δεδομένων.....	73
6.2. Περιοχή μελέτης.....	75
6.2.1.Ευρύτερη περιοχή μελέτης .....	75
6.2.2. Περιοχή κύριου ενδιαφέροντος.....	76
6.3. Λιθολογία Δεδομένων.....	76
6.3.1 Λιθολογική ερμηνεία Βυθοσκοπήσεων .....	78

6.3.1.1. Λιθολογική Ερμηνεία Βυθοσκοπήσεων .....	78
6.5. Σύγκριση γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων περιοχής ενδιαφέροντος .....	79
6.4.1. Επιλογή κοντινότερων βυθοσκοπήσεων ως προς τις νέες γεωτρήσεις .....	79
6.4.2. Περιγραφή λιθολογικών δεδομένων γεωτρήσεων και λιθολογική ερμηνεία βυθοσκοπήσεων.....	79
6.4.2.1. Γεώτρηση «agioi deka1» .....	80
6.4.2.2. Γεώτρηση «agioi deka3» .....	81
6.4.2.3. Γεώτρηση «agioi deka4» .....	83
6.4.2.4. Γεώτρηση «agioi deka7» .....	84
6.4.2.5. Γεώτρηση «agioi deka8» .....	85
6.4.2.6. Γεώτρηση «ampelouzos1» .....	87
6.4.2.7. Γεώτρηση «ampelouzos3» .....	88
6.4.2.8. Γεώτρηση «apeswkari3» .....	89
6.4.2.9. Γεώτρηση «mitropoli2».....	91
6.4.2.10. Γεώτρηση «mitropoli3».....	93
6.4.2.11. Γεώτρηση «platanos3».....	95
6.4.2.12. Γεώτρηση «platanos4».....	97
6.4.2.13. Γεώτρηση «platanos5».....	98
6.4.2.14. Γεώτρηση «plwra2» .....	100
6.4.2.15. Γεώτρηση «plwra4» .....	101
6.4.2.16. Γεώτρηση «xoustouliaana1».....	103
6.4.2.17. Γεώτρηση «xoustouliaana2» .....	105
6.4.2.18. Γεώτρηση «xoustouliaana4».....	106
6.4.2.19. Γεώτρηση «xoustouliaana6».....	108
6.5. Τρισδιάστατο Λιθολογικό Μοντέλο .....	110
6.6. Στρωματογραφία Δεδομένων .....	111
6.6.1 Τρισδιάστατο Λιθοστρωματογραφικό μοντέλο.....	112
6.7. Κατασκευή ισοβαθών και ισοπαχών χαρτών.....	113
6.7.1. Κατασκευή Ισοβαθών.....	113
6.7.2. Κατασκευή χαρτών ισοπαχών.....	117
6.8. Χάραξη τυχαίων τομών στην περιοχή μελέτης.....	120
6.9. Κατασκευή λιθοστρωματογραφικών και λιθολογικών προφίλ.....	121
6.9.1. Κατασκευή λιθοστρωματογραφικών προφίλ .....	121
6.9.2. Κατασκευή λιθολογικών προφίλ.....	121

6.9.2.1. Κριτήρια χαρακτηρισμού των λιθολογικών προφίλ των επιλεχθείσων ευθειών γραμμών .....	121
6.9.2.1.1. Λιθοστρωματογραφικό Κριτήριο .....	121
6.9.2.1.2. Λιθολογικά Κριτήρια .....	122
6.9.3. Λιθοστρωματογραφικά και λιθολογικά προφίλ .....	123
6.9.3.1. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ πρώτης τομής.....	123
6.9.3.2. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ δεύτερης τομής.....	126
6.9.3.3. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ τρίτης τομής .....	129
6.9.3.4. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ τέταρτης τομής.....	132
6.9.3.4. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ πέμπτης τομής .....	135
6.10.Συμπεράσματα .....	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	141
Ελληνική Βιβλιογραφία .....	141
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία .....	142
ΠΑΡΑΤΗΜΑ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ .....	145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ROCKWORKS 17 .....	153
Π.1 Εισαγωγή.....	153
Π.2. Η υποσελίδα Home .....	154
Π.2.1.RockPlot2D.....	155
Π.2.2.RockPlot3D.....	155
Π.2.3.ReportWorks .....	155
Π.3. Η υποσελίδα Rock Ware Utilities.....	156
Π.3.1.Δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας.....	157
Π.4.Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων με το λογισμικό Rockworks 17.....	165
Π.5. Καθορισμός διαστάσεων περιοχής μελέτης-το πεδίο Grid and Model Dimensions	165
Π.6. Η υποσελίδα Borehole Manager .....	167
Π.6.1.Εντολή Borehole Data .....	168
Π.6.1.1.Πεδίο Orientation .....	169
Π.6.1.2.Πεδίο Lithology .....	169
Π.6.1.3.Πεδίο Stratigraphy .....	171
Π.6.1.4.Πεδίο I-Data (Intervals).....	172
Π.6.1.5.Πεδίο I-Text (Interval Text) .....	172
Π.6.1.6.Πεδίο T-Data (Time Intervals).....	173
Π.6.1.7.Πεδίο P-Data (Points).....	173



Π.6.1.8.Πεδίο P-Text (Point Text) .....	173
Π.6.1.9.Πεδίο Fractures.....	173
Π.6.1.10.Πεδίο Water Levels .....	173
Π.6.1.11.Πεδία Symbols, Patterns, Bitmaps.....	173
Π.6.1.12.Πεδίο Vectors.....	173
Π.6.1.13.Πεδίο Well Construction.....	173
Π.6.2.Εντολή QuickMap.....	174
Π.7. Το κύριο menu Map.....	174
Π.7.1.Borehole Location .....	175
Π.8. Το κύριο menu Striplogs .....	175
Π.8.1.2- Dimensional .....	176
Π.8.1.2.1.Single Log .....	177
Π.8.1.2.2.Profile .....	177
Π.8.1.2.3.Section .....	178
Π.8.1.3.3- Dimensional .....	180
Π.8.1.3.1.Single Log .....	180
Π.8.1.3.2.Multiple Logs.....	181
Π.9. Το κύριο menu Lithology .....	182
Π.9.1.Model .....	182
Π.9.2.Profile .....	184
Π.9.3.Section .....	186
Π.9.4.Fence.....	188
Π.9.4.1.Fence (3D Profile) .....	188
Π.9.5.Isopach (2D) .....	190
Π.10. Το κύριο menu Stratigraphy .....	191
Π.10.1.Structural Elevations.....	192
Π.10.1.1.2-Dimensional .....	193
Π.10.1.2. 3-Dimensional .....	194
Π.10.2.Stratigraphic Thicknesses.....	196
Π.10.2.1. 2-Dimensional (Isopach) .....	197
Π.10.3.Model .....	198
Π.10.4.Profile.....	201
Π.10.5.Section .....	206
Π.10.6.Fence (3D Profile).....	207

Π.11 Εντολή Google Earth .....	210
Π.12. Menu File .....	211

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ**

### **1.1.Γεωγραφικά χαρακτηριστικά Κρήτης**

Σήμερα, το νησί της Κρήτης (Εικόνα 1.1) που αποτελεί και ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου, διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- συνολική έκταση 8.303 τετραγωνικών χιλιομέτρων
- το μήκος του νησιού είναι περίπου 260 χιλιόμετρα περίπου
- το πλάτος λαμβάνει μέγιστη τιμή 60 χιλιόμετρα και μια ελάχιστη τιμή 12 χιλιομέτρων, στο στενότερο σημείο της, τον Ισθμό της Ιεράπετρας
- οι ακτές της έχουν μήκος 1.065 χιλιόμετρα περίπου
- διαθέτει τέσσερα μεγάλα ορεινά συγκροτήματα, τα οποία είναι:
  - τα Λευκά Όρη ή Μαδάρες, με τουλάχιστον 20 κορυφές που ξεπερνούν τα 2.200 μέτρα και την ψηλότερη της κορυφή που είναι οι Πάχνες να έχουν την κορυφή στα 2.453 μέτρα
  - Ο Ψηλορείτης ή Ίδη, που είναι και το ψηλότερο ορεινό συγκρότημα του νησιού, με ψηλότερη κορυφή στα 2.456 μέτρα
  - ανατολικά του Ψηλορείτη βρίσκεται η Δίκτη ή Λασιθιώτικα Βουνά με υψόμετρο 2.148 μέτρα.
  - τα Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας, με υψόμετρο 1.476 μέτρα, τα οποία βρίσκονται πιο ανατολικά του Ψηλορείτη σε σχέση με τα Λασιθιώτικα Βουνά.



Εικόνα 1.1: Γεωλογικός χάρτης Κρήτης

Πηγή: [http://www.ingreece.com/blog/library/2007\\_04\\_01\\_archive.html](http://www.ingreece.com/blog/library/2007_04_01_archive.html)

Αξίζει να σημειωθεί ότι, το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού είναι ορεινό με ποσοστό 41%. Ενώ, το 33% πεδινό και το υπόλοιπο 26% είναι ημιορεινό.

Επιπλέον, το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού είναι πυκνό στο δυτικό τμήμα, ενώ στο ανατολικό δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένο. Το απότομο ανάγλυφο υπάρχει σε συνδυασμό με τη συχνή εναλλαγή διαπερατών και αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών και το μικρό εύρος του νησιού έχει ευνοήσει το σχηματισμό χειμάρρων και την εμφάνιση πηγών.

## 1.2. Εισαγωγή στην Γεωλογία - Ελληνίδες Οροσειρές

Για την αρχική υποδιαίρεση των Ελληνίδων Οροσειρών λήφθηκαν υπ' όψιν λιθοστρωματογραφικά στοιχεία και φασικής ανάλυσης που αναφέρονται σε στοιχεία της προ-ορογενετικής τους παλαιογεωγραφίας σε χαρακτηριστικές ισοπικές ζώνες. Όπου, ως ισοπικές ζώνες νοούνται αυτές που προσαρμόζονται στις γεωτεκτονικές ζώνες. Αυτές αποτελούνται από τα παρακάτω:

- από καθορισμένη λιθοστρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της
- από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της που καθορίστηκαν από το γενικότερο αποθετικό πεδίο
- από μια εξελικτικά και χρονικά «κοινή» τεκτονική εξέλιξη
- στοιχεία γενικά που εξαρτώνται από την αρχική της παλαιογεωγραφική θέση στον χώρο της Τηθύος

*Ως Εσωτερικές Ελληνικές Ζώνες, αναφέρονται τα εσωτερικά (ανατολικά) τόξα των Ελληνίδων Οροσειρών, αμέσως Δυτικά από την Ελληνική Ενδοχώρα της Σερβομακεδονικής Μάζας και της Ρίλα - Ροδόπης και, και έχουν γεωγραφικό χώρο ανάπτυξης την Κεντρική και Δυτική Μακεδονία, τη Θεσσαλία, την Ανατολική Στερεά Ελλάδα, Εύβοια, τα νησιά του Αιγαίου και την περιοχή της Αργολίδας στην Πελοπόννησο. (Μανούτσογλου, 2008)*

Η συμβολή στην δημιουργία των συγκεκριμένων ζωνών έγινε από τις δραστηριότητες που σημειώθηκαν κατά τη πρώιμη ορογενετική περίοδο του Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού. Ως αποτέλεσμα της χρονικής αυτής περιόδου, η ανάδυση και η χέρσευση των ζωνών, κράτησε μερικά εκατομμύρια χρόνια. Τέλος, οι ζώνες αυτές ολοκληρώθηκαν από την επίκλιση της θάλασσας. Επιπλέον, παρατηρείται και η απόθεση Μέσο - Άνω Κρητιδικά ιζήματα με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα πετρώματα. Τέλος, στις αρχές του Τριτογενούς αιώνα παρατηρείται και η πλήρης διαμόρφωση των Εσωτερικών Ζωνών. Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται σχηματικά η ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων Οροσειρών.

Τα εξωτερικά τόξα (δυτικά) των Ελληνίδων οροσειρών χαρακτηρίζονται ως Εξωτερικές Ελληνικές ζώνες. Στις ζώνες αυτές λοιπόν, ανήκουν τα Ιόνια νησιά, η Ήπειρος, η Δυτική Στερεά Ελλάδα, ολόκληρη σχεδόν η Πελοπόννησος, η Κρήτη, η Κάσος, η Κάρπαθος και η Ρόδος.

Οι ζώνες αυτές χαρακτηρίζονται από τη συνεχή και αδιάκοπη ιζηματογένεση σε όλη τη χρονική διάρκεια των Αλπικών χρόνων. Κατά το Τριτογενές παρατηρείται η οριστική ανάδυση των Εξωτερικών. Ο διαχωρισμός των Εσωτερικών από τις Εξωτερικές ζώνες γίνεται και με βάση το μέγεθος των πλουτώνιων και ηφαιστειακών πετρωμάτων. Παρατηρείται ότι στις Εσωτερικές ζώνες τα συγκεκριμένα πετρώματα είναι μεγαλύτερα. Τέλος, η μεγαλύτερη εξάπλωση των πετρωμάτων αυτών παρατηρείται στην Κρήτη και την Πελοπόννησο.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες που είναι διαταγμένες από τα εσωτερικά προς εξωτερικά αλλά και με διεύθυνση από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά είναι οι παρακάτω:

- Η μάζα της Ροδόπης και η Σερβομακεδονική μάζα

Οι οποίες αποτελούν την « Ελληνική Ενδοχώρα». Επιπλέον, δομούνται κυρίως από προαλπικά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, είναι τμήματα παλαιού ηπειρωτικού φλοιού. Τα λίγα Αλπικά ιζήματα των δύο ζωνών είναι τυπικά νηριτικά, γεγονός που δείχνει ότι στους Αλπικούς χρόνους η Ελληνική Ενδοχώρα ήταν ρηχή θάλασσα ενώ μεγάλο μέρος αυτής ήταν χέρσος. (Μανούτσογλου, 2008)

- Η Περιοδοπική ζώνη

Παλαιογεωγραφικά ήταν ηπειρωτική κατωφέρεια από τις ηπειρωτικές μάζες της Ελληνικής Ενδοχώρας προς την ωκεάνια περιοχή της ζώνης Αξιού. Επίσης, η ζώνη αυτή κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας με ιζήματα βαθιάς θάλασσας.

- Η ζώνη Παιονίας, η ζώνη Πάικου και η ζώνη Αλμωπίας

Οι τρεις παραπάνω ζώνες αν και έχουν διαφορετικούς παλαιογραφικούς χαρακτήρες θεωρείται ως ενιαία παλιά ωκεάνια περιοχή. Από την συγκεκριμένη περιοχή προέρχονται οι οφιολίθοι, με ιζηματογένεση μεσσωκεάνιας ράχης.

- Η Πελαγονική ζώνη, η Αττικοκυκλαδική ζώνη και η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη Ανατολικής Ελλάδας

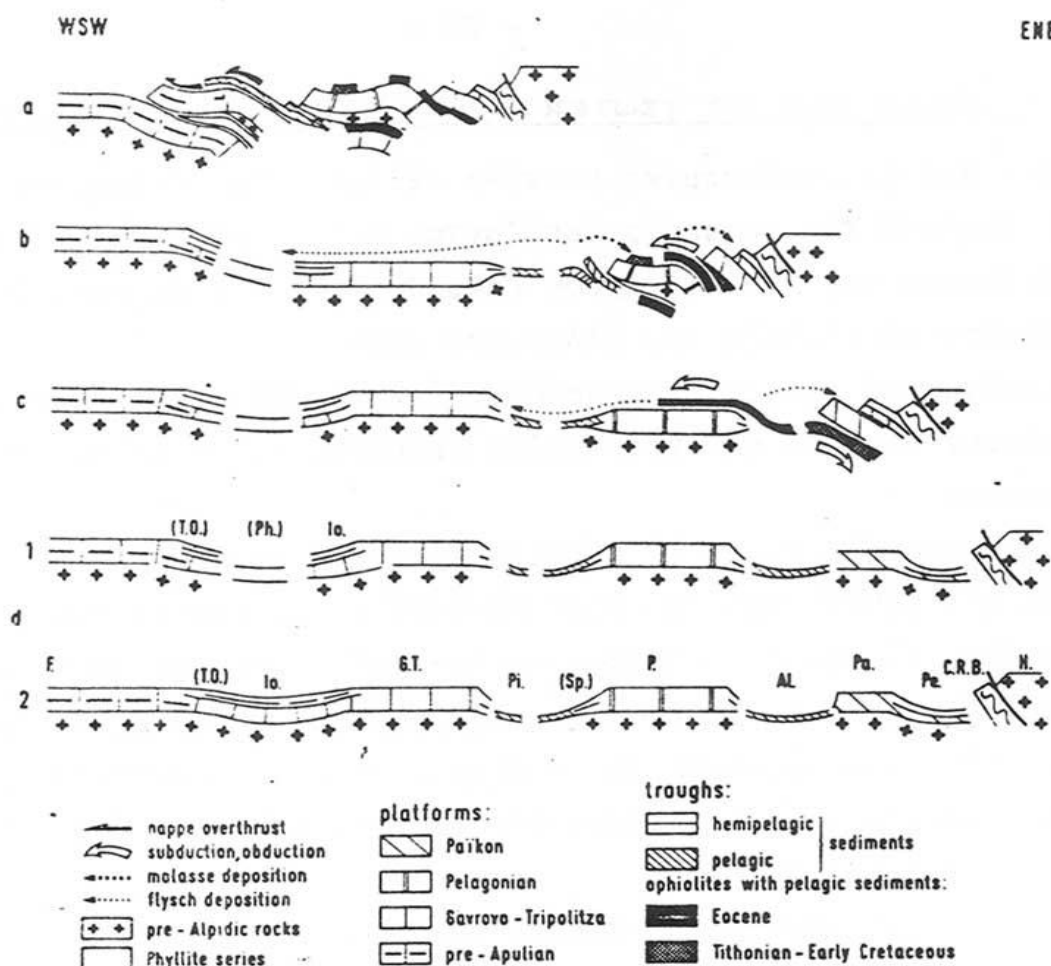
Οι οποίες αποτελούν τις « Εσωτερικές Ελληνίδες»

Η πρώτη ζώνη κατά τους Αλπικούς χρόνους είχε νηριτική ιζηματογένεση ενώ, η δεύτερη αποτελούσε ηπειρωτικά τεμάχια με ρηχή θάλασσα. Τέλος, η τρίτη ζώνη αποτελεί τη δυτική ζώνη των οφιολίθων της Ελλάδας.

Η Υποπελαγονική μαζί με τη ζώνη Ωλονού-Πίνδου αντιπροσώπευαν μια παλιά ωκεάνια περιοχή με ιζήματα αβυσικά-πελαγικά.

- Η ζώνη της Βοιωτίας, η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η ζώνη Ωλονού-Πίνδου, η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, η Αδριατικοϊόνιος ζώνη και η ζώνη Παξών ή Προαπουλία

Οι οποίες αποτελούν τις « Εξωτερικές Ελληνίδες» και αντιπροσωπεύουν περιοχές συνεχούς ηπειρωτικής νηριτικής ιζηματογένεσης κατά τους Αλπικούς χρόνους. Σχετική διαφοροποίηση παρατηρείται στην ιζηματογένεση της Αδριατικοϊονίου ζώνης που είχε, κυρίως, κατά την περίοδο του Μέσου-Ανω Ιουρασικού.



Εικόνα 1.2: Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (κατά Jacobshagen et al. 1978), όπου **a)** Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου, **b)** Περίοδος Μέσου - Άνω.Ηωκείου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφιολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολάσσας στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αξιού", **c)** Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιοδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων πάνω στην Πελαγονική., **d)** Περίοδος Μέσου - Άνω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιοδοπική ορογένεση.

### **1.3.Γεωλογία Κρήτης**

Πριν από 23 εκατομμύρια χρόνια, η Κρήτη δεν ήταν τίποτα περισσότερο από το νοτιότερο τμήμα μιας ενιαίας ξηράς, της Αιγιάδας. Στη δημιουργία του νησιού, όπως η μορφή του είναι γνωστή σήμερα, συνέβαλαν οι κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών της περιοχής(η Αφρικάνικη, Αραβική και Ευρασιατική) οι οποίες δημιούργησαν μια τάφρο μεταξύ Ανατολικής Κρήτης και Κάσου-Καρπάθου. Ως αποτέλεσμα της τάφρου, διαμορφώνεται η αρχική μορφή του Αιγίου πελάγους. Επιπλέον, τα τελευταία τέσσερα εκατομμύρια χρόνια έχει δημιουργηθεί ένα έντονα ανάγλυφο στο νησί το οποίο είναι αποτέλεσμα του έντονου τεκτονισμού που υπάρχει.

Όμως, ο ελλαδικός χώρος πριν ακόμα γίνει ξηρά αποτελούσε τμήμα ενός μεγάλου ωκεανού στο βυθό του οποίου, για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια, κατακάθιζαν πολλαπλά ιζήματα. Σήμερα, τα ιζήματα αυτά υπάρχουν στις οροσειρές όλης της Ελλάδας. Η σύσταση των ιζημάτων αυτών ήταν ανθρακική και είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία ασβεστόλιθων και δολομιτών. Με το πέρασμα των χρόνων κάποια από αυτά τα πετρώματα μεταμορφώθηκαν σε μάρμαρα.

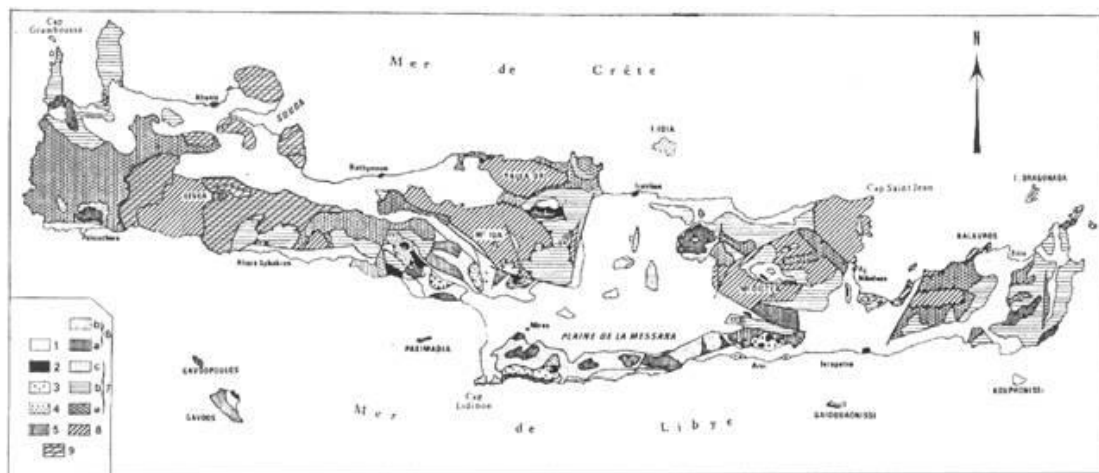
Όμως,όταν η Αφρική άρχισε να πλησιάζει την Ευρώπη, ο ωκεάνιος χώρος συρρικνώθηκε, αφήνοντας ως υπόλειμμα τη σημερινή Μεσόγειο θάλασσα. Όλο αυτό οδήγησε στην παραμόρφωση των ήδη υπαρχόντων πετρωμάτων αλλά και στην ανύψωση και ανάδυση τους από τη θάλασσα δημιουργώντας τη σημερινή ξηρά της Ελλάδας.

Σήμερα, τα πετρώματα τα οποία σχηματίστηκαν μέσα στο παραπάνω ωκεανό σχηματίζουν τα βουνά του νησιού της Κρήτης (Εικόνα1.3). Οι ομάδες στις οποίες διαχωρίζονται αυτά τα πετρώματα είναι οι παρακάτω:

- τους πλακώδεις ασβεστόλιθους και τα πετρώματα της Τρίπολης, που είναι στην πλειοψηφία τους ανθρακικής σύστασης
- την ομάδα των φυλλιτών- χαλαζιτών που συνήθως παρεμβάλλεται ανάμεσα στις προηγούμενες δύο.



- οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι ή μάρμαρα, όπου το πάχος τους ξεπερνά τα πέντε χιλιόμετρα και, παρόλο που είναι η ομάδα βάσης, συναντώνται στις ψηλότερες κορυφές της Κρήτης. Χαρακτηρίστηκα:
  - Είναι σκληρά και συμπαγή πετρώματα
  - μικρή υδροπερατότητα, διαβρώνονται πολύ εύκολα και έτσι αποκτούν ρωγμές και κοιλότητες μέσα στις οποίες το νερό μπορεί εύκολα να εισχωρήσει
  - τα πετρώματα αυτά λειτουργούν ως υδατοσυλλέκτες και αξιόλογες αποθήκες υπόγειου νερού, αφού τα ψηλά βουνά του νησιού δέχονται μεγάλες ποσότητες βροχοπτώσεων και χιονιού
- Η ομάδα των φυλλιτών -χαλαζιτών, η οποία αποτελείται από τα παρακάτω:
  - φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες
  - παλιά ηφαιστειακά πετρώματα εμφανίζονται στη δυτική Κρήτη
  - Οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες είναι κυρίως αργιλικής σύστασης, δε διαβρώνονται εύκολα και παράλληλα είναι πετρώματα αδιαπέρατα από το νερό.



Εικόνα 1.3: Γεωλογικός Χάρτης Κρήτης

Πηγή: <http://emeric.ims.forth.gr/>

Σε κάποιες περιπτώσεις πάνω από τις ομάδες πετρωμάτων που ήδη έχουν αναφερθεί υπάρχει, μια άλλη ομάδα ασβεστολιθικών και δολομιτικών πετρωμάτων που ονομάζονται πετρώματα της Τρίπολης. Τα πετρώματα αυτής της

ομάδας, έχουν ένα πάχος μερικών εκατοντάδων μέτρων και είναι πετρώματα μεγάλης υδροπερατότητας. Πολλές φορές συναντώνται σε άμεση επαφή με τους πλακώδεις ασβεστόλιθους χωρίς την παρεμβολή των φυλλιτών- χαλαζιτών.

#### **1.4.Γεωγραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Μεσσαράς**

Η λεκάνη της Μεσσαράς (Εικόνα 1.4), η οποία αποτελεί και την περιοχή ενδιαφέροντος για την μελέτη της παρούσας διπλωματικής, βρίσκεται στο νομό Ηρακλείου και συγκεκριμένα στο νότιο τμήμα αυτού.

Χαρακτηριστικά της περιοχής της λεκάνης Μεσσαράς είναι τα παρακάτω:

- η περιοχή αντιστοιχεί σε μια έκταση 1005 τετραγωνικών χιλιομέτρων
- βρίσκεται γεωγραφικά μεταξύ 34°55' και 35°15' Βόρεια του Ισημερινού, αντιστοιχεί στο γεωγραφικό πλάτος
- 24°45' και 25°25' Ανατολικά του Γκρήνουιτς, αντιστοιχεί στο γεωγραφικό μήκος
- έχει πληθυσμό περίπου 55000 κατοίκους
- επαρχιακή αγροτική περιοχή με πληθυσμιακή πυκνότητα περίπου 55 κατοίκους / τετραγωνικό χιλιόμετρο
- περιλαμβάνει 11 δήμους, οι οποίοι συνίστανται από πολύ λίγες μικρές κωμοπόλεις και πολλά χωριά με μικρό πληθυσμό
- το 1,1% της λεκάνης αποτελεί αστική περιοχή
- το 65% της λεκάνης αποτελεί την καλλιεργήσιμη γη
- το μέσο υψόμετρο της λεκάνης συνολικά είναι 445 μέτρα και η μέση κλίση 23,7%



Εικόνα 1.4: Χάρτης Κρήτης, όπου στο κίτρινο περίγραμμα παρουσιάζεται η Μεσσαρά

Πηγή: <http://leddris.aegean.gr/crete/messara-valley/285-general-description-of-messara-valley.html>

Επιπλέον, η λεκάνη της Μεσσαράς αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα και την πιο σημαντική αγροτική περιοχή του νησιού της Κρήτης.

Στη λεκάνη της Μεσσαράς παρατηρείται ότι το ανάγλυφο έχει αρκετές διακυμάνσεις, με ήπιες έως μηδενικές κλίσεις στο πεδινό τμήμα της λεκάνης (κεντρικό, δυτικό και νοτιοανατολικό), έντονες κλίσεις στα πιο ορεινά τμήματα της λεκάνης της όπως το βορειοδυτικό (όρος Ίδη) και νότιο τμήμα (Αστερούσια όρη) και πολύ έντονες κλίσεις στο ανατολικό τμήμα (όρος Δίκη).

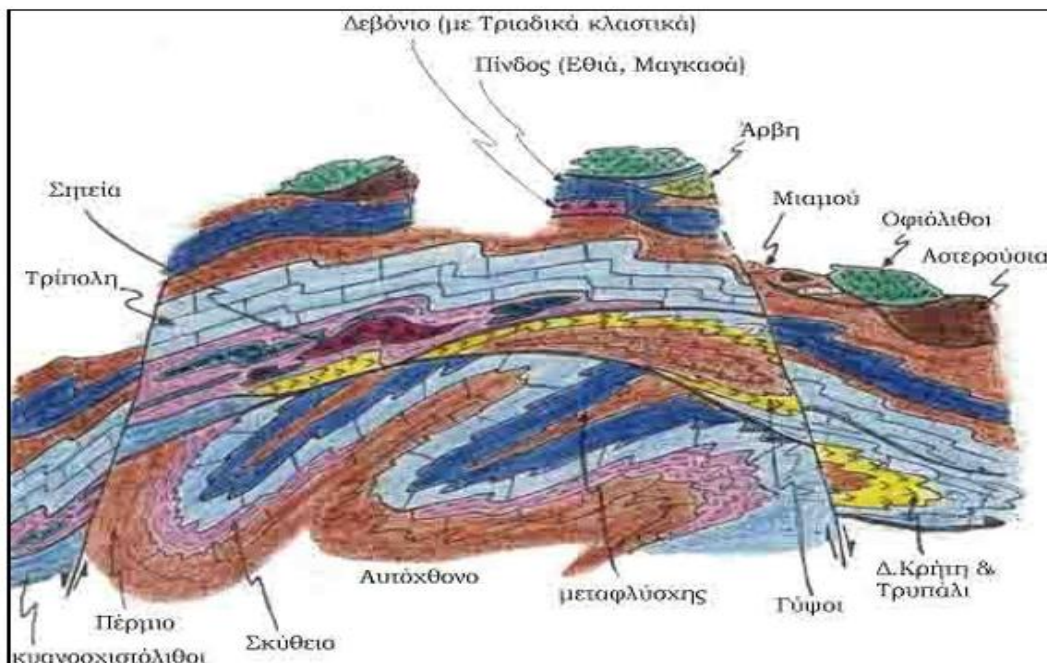
Όσον αναφορά την υδρογραφία της περιοχής από το πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς διέρχονται δυο μεγάλοι ποταμοί, ο Γεροπόταμος (38,4 χιλιόμετρα) και ο Αναποδιάρης (46 χιλιόμετρα) που αποστραγγίζουν τις λεκάνες της δυτικής και ανατολικής Μεσσαράς αντίστοιχα. Άλλοι σημαντικοί ποταμοί που διέρχονται και αποστραγγίζουν τμήμα της λεκάνης Μεσσαράς είναι οι δύο παραπόταμοι του Γεροποτάμου, ο Κουτσουλίδης (22,8 χιλιόμετρα) και ο Ληθαίος (17,1 χιλιόμετρα) και οι δύο παραπόταμοι του Αναποδιάρη, ο Βαρύτης (22,6 χιλιόμετρα) και ο Κολοκυθάς (26,8 χιλιόμετρα). (Κρίνης, 2009)

## 1.5.Γεωλογία της περιοχής Μεσσαράς

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που υπάρχουν στην περιοχή της Μεσσαράς, και γενικά στην Κρήτη, από το τεκτονικά υπερκείμενο ως τον υποκείμενο.

### 1.5.1 Αλπικοί Σχηματισμοί

Οι αλπικοί σχηματισμοί σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης. Υπάρχουν σε διάφορα καλύμματα του νησιού. Όπως οι νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί έτσι και οι αλπικοί, παρουσιάζουν μία διάταξη από το υπερκείμενο ως το υποκείμενο. Έτσι, το κατώτερο τμήμα περιλαμβάνει τη σχετικά αυτόχθονη σειρά, τα πετρώματα της οποίας μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας, ενώ το ανώτερο τμήμα αποχωρίστηκε από τις τεκτονικά υπερκείμενες μέσω μιας επιφάνειας αποκόλλησης. Η φορά μέγιστης κλίσης αυτού του κανονικού ρήγματος μικρής κλίσης είναι προς τα βόρεια και αρκετοί συγγραφείς υποστηρίζουν ότι ευθύνεται για τη δημιουργία της ασύμμετρης τάφρου του Κρητικού πελάγους (Βασιλάκης, 2006). Μια σχετική θέση των αλπικών ενοτήτων παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Σχετική θέση των αλπικών ενοτήτων στην Κρήτη ( Paranikolaou, 1988)

#### **1.5.1.1.Ενότητα Οφιολίθων και κρυσταλλοσχιστωδών**

*Το τεκτονικό κάλυμμα των οφιολίθων και κρυσταλλοσχιστωδών ( Άνω Ιουρασικό- Κάτω Κρητιδικό) αποτελεί το ανώτερο τεκτονικό σχηματισμό του αλπικού υπόβαθρου της περιοχής μελέτης. Η τοποθέτηση του καλύμματος ξεκίνησε κατά το Άνω Ηώκαινο και ολοκληρώθηκε κατά το Μειόκαινο. (Fasoulas, 1999)*

*Το οφιολιθικό σύμπλεγμα περιλαμβάνει σερπεντινωμένους περιδοτίτες, γάββρους, δολερίτες, πυροξενίτες κ.α. (Φυτρολάκης, 1980)*

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

Το κάλυμμα Βατού αποτελείται από τους σχιστόλιθους του Βατού, εναλλαγές τεφρών ιλυόλιθων και ψαμμιτικών ασβεστόλιθων ή ψαμμιτών (γραουβάκες) με ηφαιστειακά.

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

Τέλος, το κάλυμμα Αστερουσίων και Βατού εντοπίζονται επωθημένα πάνω στο φλύσχη στην περιοχή Πόμπιας.

#### **1.5.1.2.Ενότητα Ωλονού-Πίνδου**

Η ενότητα αυτή εμφανίζεται εκτεταμένα στη νότια περιοχή της λεκάνης, στα Αστερούσια Όρη, ως σειρά Εθιάς.

Περιλαμβάνει ψαμμιτοπηλιτικό 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 Μεταξουργείου και δυτικά του χωριού Πλάτανος.

Νηριτικοί, πλακώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας Σενωνίου-Κάτω Ηώκαινου εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης εντός του φλύσχη Εθιάς, ΝΔ του χωριού Ζαρός, 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 Εθιάς.

*Ροδόχρωμοι ασβεστολιθοί απολιθωματοφόροι με ιασπίδες και ραδιολατερίτες ηλικίας Άνω Τριαδικού- Κάτω Ιουρασικού (Bidakis et al, 1994) και ο «πρώτος φλύσχη της Πίνδου» τοποθετούνται μαζί με την Κλασσική σειρά Άνω Τριαδικού επωθημένα πάνω στο φλύσχη της Τρίπολης, βόρεια του χωριού Άγιοι Δέκα.*

#### **1.5.1.3.Ενότητα Τρίπολης**

*Στην περιοχή πλησίον του χωριού Αγιά Βαρβάρα εμφανίζεται ο αργιλικός, ψαμμιτικός φλύσχη της Τρίπολης, ηλικίας Άνω Ηώκαινου-Ολιγόκαινου (Bonneau et al, 1984; Φυτρολάκης, 1980; Bidakis, 1994). Η σχέση του φλύσχη με τους υποκείμενους ανθρακικούς σχηματισμού 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 μεταλπικούς 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 της περιοχής 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 Άνω Τριαδικού- Μέσω και Άνω Μειόκαινο. 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).

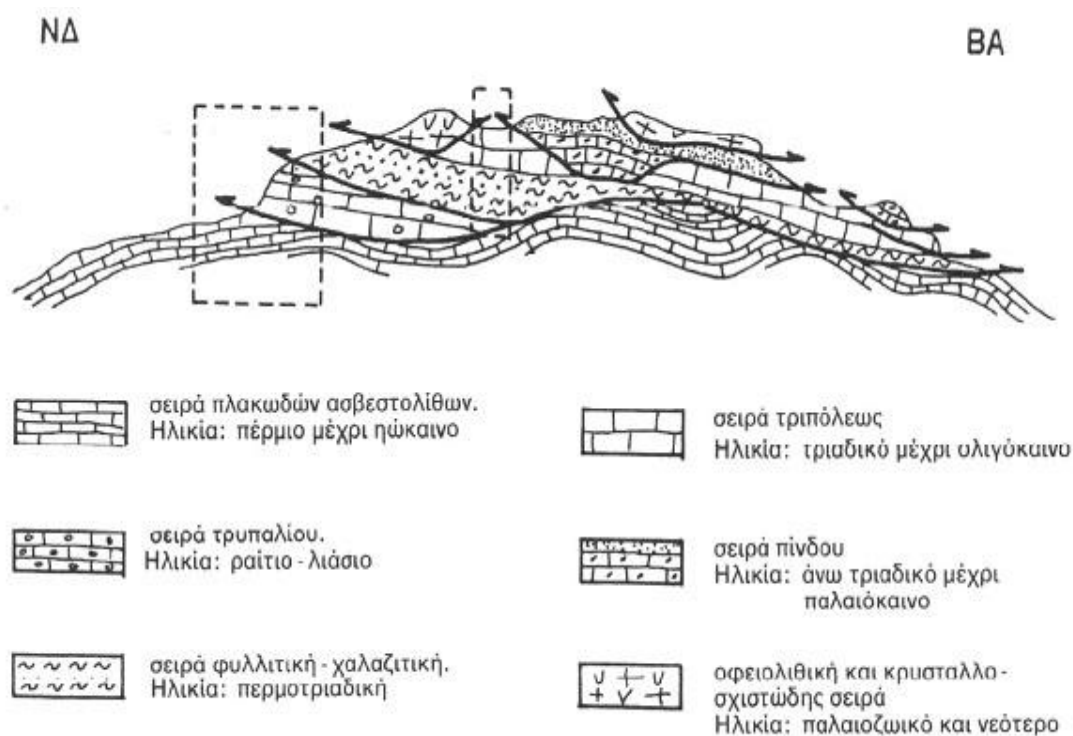
#### 1.5.1.4.Ενότητα Φυλλιτών- Χαλαζιτών

Η ενότητα φυλλιτών-χαλαζιτών αντιπροσωπεύεται από μια περιορισμένη εμφάνιση βόρειας της Γέγερης, με ηλικία Πέρμιο- Τριαδικό, όπου υπόκεινται των ασβεστόλιθων 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).

#### 1.5.1.5.Αυτόχθονη- παραυτόχθονη σειρά

Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι του Μεσοζωικού- Τριτογενούς μαζί με τα μεταφλυσικά στρώματα Κρούσωνα του Άνω Ηώκαινου (Bonneau et al, 1984) αποκαλύπτονται στα ΝΑ πρηνή του όρους Ίδη, υπό τη μορφή τεκτονικού υπόβαθρου.

Στην συνέχεια παρατίθεται μια εικόνα (Εικόνα 1.6) στην οποία αναπαρίσταται μια κατανομή των ομάδων πετρωμάτων της Κρήτης. Οι ομάδες αυτές έχουν αναλυθεί παραπάνω.



Εικόνα 1.6: Ομάδες πετρωμάτων Κρήτης ( Kiliass et al., 1984)

### 1.5.2. Νεογενείς Σχηματισμοί

Ένα μέρος του Καινοζωικού αιώνα, ο οποίος καλύπτει τα τελευταία 65 εκατομμύρια χρόνια μέχρι και σήμερα, καλύπτεται από τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Συγκεκριμένα, οι αποθέσεις αυτές καλύπτουν τα τελευταία 25 εκατομμύρια χρόνια του αιώνα.

Επιπλέον, οι νεογενείς αποθέσεις βασιζόμενες στα παλαιοντολογικά δεδομένα διακρίνονται σε δύο εποχές, το Μειόκαινο και το Πλειόκαινο. Όπου, νεογενείς σχηματισμοί είναι οι ιζηματολογικές ακολουθίες οι οποίες αποτέθηκαν τα τελευταία 13 εκατομμύρια χρόνια περίπου.

*Κατά το κατώτερο Μειόκαινο μετά τις επωθήσεις των διαφόρων ενοτήτων πάνω στα πετρώματα της αυτόχθονης ενότητας δημιουργήθηκαν πεδία τάσεων τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις B-N και A-Δ. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν μεγάλα βυθίσματα στα οποία άρχισαν να αποτίθενται τα υλικά της διάβρωσης των αναδυθέντων πετρωμάτων. Οι κύριες μεγάλες νεογενείς λεκάνες ήταν του Ηρακλείου – Μεσαράς, της Ιεράπετρας – Καλού Χωριού, του βορείου τμήματος του ν. Ρεθύμνου και Χανίων, Σητείας και άλλες μικρότερες οι οποίες καταλαμβάνουν περίπου το 1/3 της έκτασης του νησιού. Τα νεογενή ιζήματα (Πλειοκαινικά – Μειοκαινικά) αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις στο σύνολο της Κρήτης. Επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς. Αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία τόσο ως προς την ηλικία τους όσο και ως προς τη λιθολογία τους. (Κριτσωτάκης, 2009)*

Εξαιτίας των διαδοχικών παλαιογεωγραφικών διατάξεων διακρίνονται τέσσερα κύρια επεισόδια κατά την εξέλιξη του ανάγλυφου κατά μήκος της διατομής στην κεντρική Κρήτη, τα οποία είναι τα παρακάτω:

- το Άνω Σερραβάλιο αποτελεί το πρώτο επεισόδιο, όπου στην περιοχή λαμβάνει χώρα λιμναία ιζηματογένεση και οριοθετούσε την ξηρά του νοτίου Αιγαίου.



- τα Ανώτατο Σερραβάλιο – Μεσσήνιο αποτελούν το δεύτερο και τρίτο επεισόδιο αντίστοιχα, όπου κατά την διάρκεια των επεισοδίων αυτών δημιουργήθηκε ένα παλαιογεωγραφικό καθεστώς.

Οι σημερινές κορυφογραμμές που οριοθετούν και διατέμνουν τη λεκάνη του Ηρακλείου, άρχισαν να παίζουν ενεργό ρόλο στην παλαιογεωγραφία και την τοπογραφία του πυθμένα. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του Άνω Μειοκαίνου αναπτύχθηκε η λεκάνη του Ηρακλείου ενώ οι κορυφογραμμές της κεντρικής Κρήτης με διεύθυνση Α - Δ άρχισαν να διαχωρίζουν τη λεκάνη στο βόρειο και νότιο τμήμα της.

- Το τέταρτο επεισόδιο χαρακτηρίζεται από την έντονη άνοδο όλης της περιοχής κατά το Πλείο-Πλειστόκαινο.

Κατά το Μέσο Μειόκαινο ως το Πλειόκαινο διακρίνονται πέντε λιθοστρωματογραφικές ομάδες. Οι ομάδες αυτές παρουσιάζουν τις εναλλαγές των παλαιοντολογικών αποθέσεων που υπάρχουν και συντελούν στην κατανόηση της εξέλιξης του τεκτονικού καθεστώτος κατά τη μεταλπική περίοδο. Στη συνέχεια αναλύονται οι ομάδες αυτές.

#### **1.5.2.1.Ομάδα Πρίνα**

Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα μεταλπικά ιζήματα τα οποία δημιουργούνται κατά το Μέσο/Άνω Μειόκαινο. Επίσης, πρόκειται για αποθέσεις μη θαλάσσιου και υφάλμυρου περιβάλλοντος, αποτελούμενες από μαύρα, χονδρόκοκκα, πολύ συνεκτικά ασβεστολιθικά λατυποπαγή και κροκαλοπαγή. Αυτή η ομάδα εμφανίζεται στην ανατολική Κρήτη.

#### **1.5.2.2.Ομάδα Τεφελίου**

Αφού τελειώσει η αλπική περίοδος και κατά συνέπεια ολοκληρωθεί η δημιουργία του προ-νεογενούς υποβάθρου της Κρήτης αλλά και η ευρύτερη περιοχή έχοντας ισορροπεί, αρχίζει η μετα-ορογενετική διαδικασία της ιζηματογένεσης με την απόθεση κλαστικών, μη- θαλάσσιων ιζημάτων κατά τη διάρκεια του Μέσου

Μειοκαίνου. Επιπλέον, για την συγκεκριμένη ομάδα ισχύουν οι παρακάτω περιπτώσεις:

- είτε υπέρκειται της ομάδας Πρίνα
- είτε επικάθεται ασύμφωνα απευθείας στο προ-Νεογενές υπόβαθρο

Στην περίπτωση που ισχύει το δεύτερο τότε η Ομάδα Τεφελίου καλύπτει λιθοστρωματογραφικά την περίοδο από το Σερραβάλλιο μέχρι το Ανώτερο Τορτόνιο και αποτελείται από τρεις επί μέρους σχηματισμούς, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω

#### **1.5.2.2.1.Σχηματισμός Βιάννου**

*Οι αμμώδεις και ιλυώδεις λιμναίες αποθέσεις με μικρές ενδιαστρώσεις από πολύμικτα κροκαλοπαγή ποταμο-χειμάρρειας προέλευσης, συνθέτουν το σχηματισμό Βιάννου, με ηλικία Σερραβάλλιο. (Meulenkaamp, 1979)*

Ο σχηματισμός Βιάννου εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης, στην λεκάνη δηλαδή της Μεσσαράς, αλλά και στα όρια της με τη λεκάνη Ηρακλείου. Γενικά, ο σχηματισμός Βιάννου έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Είτε είναι λεπτο- κοκκώδης είτε στη περίπτωση των πρώην ποτάμιων καναλιών κυριαρχούν ψαμμίτες.
- Οι κατευθύνσεις αυτών των παλαιορευμάτων είναι γενικά προς τα Νοτιοδυτικά ως Δυτικά
- Κοντά στο χωριό Άνω Βιάννος, παρατηρείται μια μείωση του μεγέθους των κόκκων προς τα ανώτερα στρώματα των ποτάμιων ακολουθιών

*Αυτή οφείλεται στη διαπλοκή των ρεμάτων μεταξύ τους και τον αναστομωτικό χαρακτήρα τους με την πλημμυρική κοίτη και σχετίζεται άμεσα με ρηχές, γλυκού νερού, λιμναίες αποθέσεις. (Willmann, 1982)*

- 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, παρατηρείται η ύπαρξη ψαμμιτών, οι οποίοι δείχνουν ότι τα παλαιο-ρέματα ρέουν από την ανατολή προς τη δύση. Έτσι, με την κίνηση τους αυτή καλύπτουν τους παλιότερους ορίζοντες της ποταμο-λιμναίας ακολουθίας του συγκεκριμένου σχηματισμού
  - *Οι διευθύνσεις των παλαιο-ρεμάτων και οι παλαιές γραμμές ακτών στους ψαμμίτες στην Κάνδαρο δείχνουν ότι η επίκληση της θάλασσας γίνεται από τα ΝΝΔ προς τα ΒΒΑ. (ten Veen & Postma, 1999)*
- Το συνολικό πάχος του σχηματισμού έχει υπολογιστεί κοντά στα 400 μέτρα
- Στο χωριό Γωνιά, παρατηρείται η βορειότερη εμφάνιση του σχηματισμού Βιάννου με ποταμο-λιμναίες άμμους και μερικές ανθρακικές ενδιαστρώσεις.
- Στη λεκάνη του Ηρακλείου, ο αντίστοιχος ποταμο-λιμναίος σχηματισμός Βιάννου, είναι ο σχηματισμός Μαλέ.

#### **1.5.2.2.2.Σχηματισμός Σκινιά**

*Πάνω από το σχηματισμό Βιάννου και σε συμφωνία με αυτόν, αποτίθεται ο σχηματισμός Σκινιά, ο οποίος αποτελείται από αργίλους συνδεδεμένους με τη περίοδο του Ανώτερου Σερραβαλλίου και με πάχος περίπου 200 μέτρα. (Zachariasse, 1975).*

Επιπλέον, στο σχηματισμό Σκινιά παρατηρείται ότι οι γκρι-μπλε αργίλοι του καλύπτουν τους παράκτιους ψαμμίτες του σχηματισμού Βιάννου. Αυτό παρατηρείται βόρεια του χωριού Τεφέλι. Επίσης, παρατηρούνται κατολισθήσεις εδαφών, που αποτελούνται από πηλίτες, στη βάση του συγκεκριμένου σχηματισμού. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται Νότια του Τεφελίου.

*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 ολισθόλιθων αλπικής προέλευσης και ιδιαίτερα ανθρακικής σύστασης, με σκουρόχρωμες και ανοιχτόχρωμες ανθρακικές λατύπες της ενότητας Τρίπολης και από λατύπες με οφειολιθική σύσταση. (Βασιλάκης, 2006)*

#### **1.5.2.2.3.Σχηματισμός Αμπελούζου**

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

Ο σχηματισμός Αμπελούζου αποτελεί τον τρίτο σχηματισμό της ομάδας Τεφελίου. Έτσι, βάση της στρωματογραφίας παρατηρείται ότι αποτέθηκε πάνω από το σχηματισμό Σκινιά.

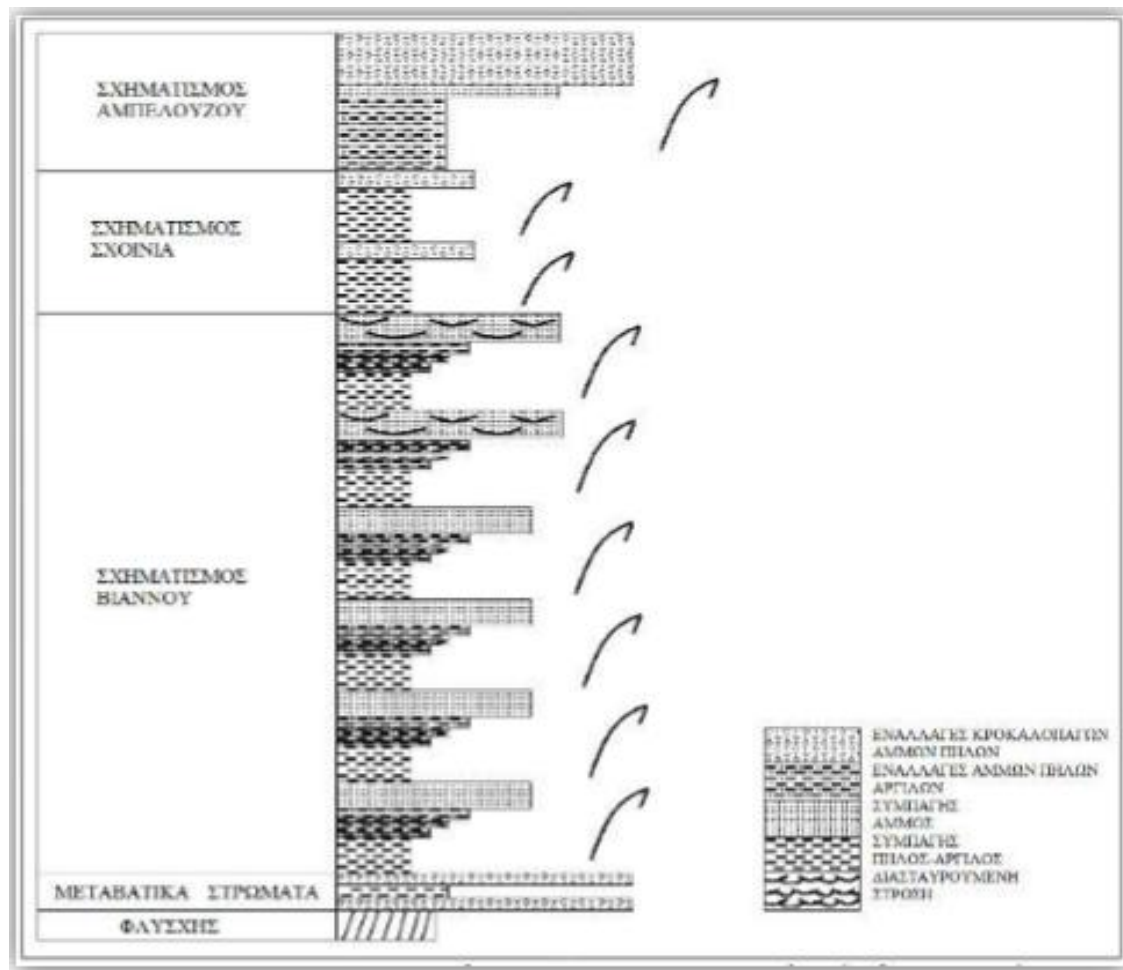
Όμως, το 2006 ο Βασιλάκης ανέφερε ότι τα μέλη του σχηματισμού Αμπελούζου καλύπτονται ασύμφωνα, από μέλη του νεώτερου σχηματισμού Αγίας Βαρβάρας. Το κατώτερο τμήμα του σχηματισμού Αμπελούζου χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλία ιζηματογενών φάσεων, από κροκαλοπαγή ριπιδίων μέχρι ομογενείς ψαμμίτες υφαλοκρηπίδας. 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 βιτουμενιούχους σχίστες (προδέλτα), και αργιλώδεις ως και χαλικιώδεις δελταϊκές περιοχές, με παλαιοεδάφη και λιγνίτες. (Meulenkamp, et al., 1979)*

Επίσης, τα διάφορα δελταϊκά συστήματα, μεταβαίνουν σε αμμώδεις αποθέσεις ρηχής θάλασσας και υφάλους. Αυτή η μετάβαση, προς βαθύτερο περιβάλλον, προσδιορίζεται από την παρουσία άφθονου βενθονικού τρηματοφόρου *Heterostegina* sp. Ενώ η παράκτια πανίδα που αποτελείται γαστεροπόδαρα και μαλάκια.

Στην περιοχή μεταξύ των χωριών Ζαρού και Αγίας Βαρβάρας, μια παχιά δελταϊκή ακολουθία αποτέθηκε στη τομή των δύο διευθύνσεων ρηγμάτων (B-N και A-Δ). Στο νότιο τμήμα της περιοχής αυτής, η δελταϊκή ακολουθία είναι λεπτοκοκκώδης. Όμως, προς τα ανώτερα μέλη της κολώνας, οι ποτάμιες αποθέσεις μεταβαίνουν στους θαλάσσιους και παράκτιους πηλίτες και ψαμμίτες, με απολιθώματα *Pecten*, *Clypeaster*, *Lithothamnium* και *Ostrea*.

Όσον αφορά την πεδιάδα της Μεσσαράς, παρατηρείται ότι νότια αυτής και ανατολικά από το χωριό Μάταλα η βάση του σχηματισμού Αμπελούζου καλύπτει απευθείας το αλπικό υπόβαθρο. Επιπλέον, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς, η ύπαρξη των ποτάμιων έως ρηχής θάλασσας φάσεων είναι πιο ετερόκλητη, δείχνοντας διαδοχικούς κύκλους επίκλησης και απόσυρσης της θάλασσας. Σε τομή νότια του χωριού Τεφέλι, παρατηρήθηκε γωνιώδης ασυμφωνία μεταξύ στραμμένων προς βορά αποθέσεων του σχηματισμού Σκινιά και οριζόντων του σχηματισμού Αμπελούζου (ten Veen, 1998).

Στην συνέχεια παρατίθεται η λιθοστρωματογραφική στήλη των Σχηματισμών του Τεφελίου (Εικόνα 1.7)



Εικόνα 1.7: Λιθοστρωματογραφική στήλη των Σχηματισμών του Τεφελίου (Πυλιώτης 2008)

### 1.5.2.3.Ομάδα Βρυσσών

#### 1.5.2.3.1.Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας

Σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης παρατηρήθηκε η απόθεση κλαστικών σχηματισμών που προέρχονται από αποσάθρωση, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση ασβεστόλιθων και μαργών κατά τη διάρκεια του Μεσσήνιου (Sissingh, 1972). Όπου, η αλλαγή αυτή αντικατοπτρίζεται στα ιζήματα του σχηματισμού Αγίας Βαρβάρας (Meulenkamp, et al., 1979), τα οποία έχουν ηλικία Μεσσήνιο.

Ο σχηματισμός της Αγίας Βαρβάρας αποτελεί όλη την ομάδα Βρυσσών. Έτσι, η ομάδα των Βρυσσών αποτελείται βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους, που αποτέθηκαν κατά την περίοδο του Ανώτερου Τορτονίου – Μεσσηνίου. Ενώ, 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 τις παλαιότερες ενότητες. Οι αποθέσεις αυτές, οι οποίες είναι μικρού θαλάσσιου βάθους, κάνουν την εμφάνιση τους στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού και έχουν μια ειδική ονομασία, Πύργος. Το όνομα αυτό το έχουν πάρει από το χωριό Πύργος. Επιπλέον, γύρω από το συγκεκριμένο χωριό παρατηρούνται ασυμφωνίες του σχηματισμού πάνω από κεκλιμένα τεμάχια με αποθέσεις των σχηματισμών Βιάννου και Αμπελούζου.

Στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος, η οποία είναι η πεδιάδα της Μεσσαράς, παρατηρείται ότι 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. Ενώ, 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 ασβεστόλιθους 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.

Επιπλέον, στην υποτιθέμενη γραμμή ένωσης των χωριών Μεγάλη Βρύση – Πανασσός, στην περιοχή όπου διαχωρίζεται η λεκάνη Μεσσαράς από τη λεκάνη Ηρακλείου, εμφανίζονται αποθέσεις κλιτύος. Χρονικά οι αποθέσεις αυτές είναι το ίδιο με τα στρώματα του Πύργου και διαπλέκονται με μάργες βαθιάς θάλασσας, που ανήκουν στα ανώτερα στρώματα του σχηματισμού Αμπελούζου. Τέλος, παρατηρώντας την κεντρική περιοχή, παρατηρείται η ύπαρξη αλλαγής των μάργων στο όριο μεταξύ του σχηματισμού Αμπελούζου και του υπερκείμενου σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα. Ουσιαστικά, οι μάργες από γκρι-μπλε που ήταν, εξαιτίας του σχηματισμού Αμπελούζου, γίνονται λευκές ομοιογενείς και φυλλώδεις μάργες. Εδώ, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν αποθέσεις Πύργου.

Από κυκλο-στρωματογραφικές μελέτες και ραδιοχρονολογήσεις ( $Ar/Ar$ ) (Krijgsman, 1996), σε τρεις ορίζοντες που παρεμβάλλονται στα ανώτερα στρώματα του σχηματισμού Αμπελούζου και στα κατώτερα στρώματα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας, αποδείχθηκε ότι αυτή η επαφή συμπίπτει με το όριο Τορτονίου – Μεσσηνίου. Τα ανώτερα στρώματα του σχηματισμού αποτελούνται, κατά θέσεις, από γύψους, οι οποίοι σχετίζονται με την κρίση αλατότητας της Μεσογείου, κατά την περίοδο του Μεσσήνιου.

#### **1.5.2.4.Ομάδα Φοινικιάς**

##### **1.5.2.4.1.Σχηματισμός Φοινικιάς**

Στην περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς, ιζήματα του Κατώτερου Πλειοκαίνου βρίσκονται, στρωματογραφικά, επάνω από ασβεστόλιθους του Ανώτερου Μεσσηνίου (Meulenkamp, et al., 1994).

Ο σχηματισμός Φοινικιάς, ο οποίος αποτελεί και την ομάδα Φοινικιάς, συντελείται από λευκές μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους που προέρχονται από ιζηματογένεση βαθιάς θάλασσας. Το γεγονός αυτό έλαβε χώρα κατά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά το Κάτω Πλειόκαινο. Επιπλέον, κατά τη χρονική αυτή διάρκεια τερματίστηκε και η κρίση αλατότητας της Μεσογείου την περίοδο του Μεσσήνιου.

Αυτές οι αποθέσεις μεγάλου βάθους εξελίσσονται σε νεότερες πιο αμμώδεις και κροκαλοπαγείς αποθέσεις. Η ακολουθία αυτή υποδηλώνει μια διαρκή μείωση του βάθους της λεκάνης, παράλληλα με στρέψη προς Βορρά (Meulenkaamp, et al., 1994).

Στα νότια, η ανάδυση κατά τη διάρκεια του Κάτω Πλειοκαίνου, ακολουθείται από καταβύθιση στο Άνω Πλειόκαινο, η οποία με τη σειρά της ακολουθήθηκε από τη σημερινή φάση ανύψωσης. Στα βόρεια της λεκάνης της Μεσσαράς, τα ιζήματα του Κάτω Πλειοκαίνου, συγχωνεύονται με τα λεγόμενα μαργαϊκά λατυποπαγή (Fortuin, 1977), γεγονός το οποίο υποδηλώνει ένα επεισόδιο τεκτονικής αστάθειας που ακολούθησε την καταβύθιση του Άνω Πλειοκαίνου.

#### **1.5.2.5.Ομάδα Αγ. Γαλήνης**

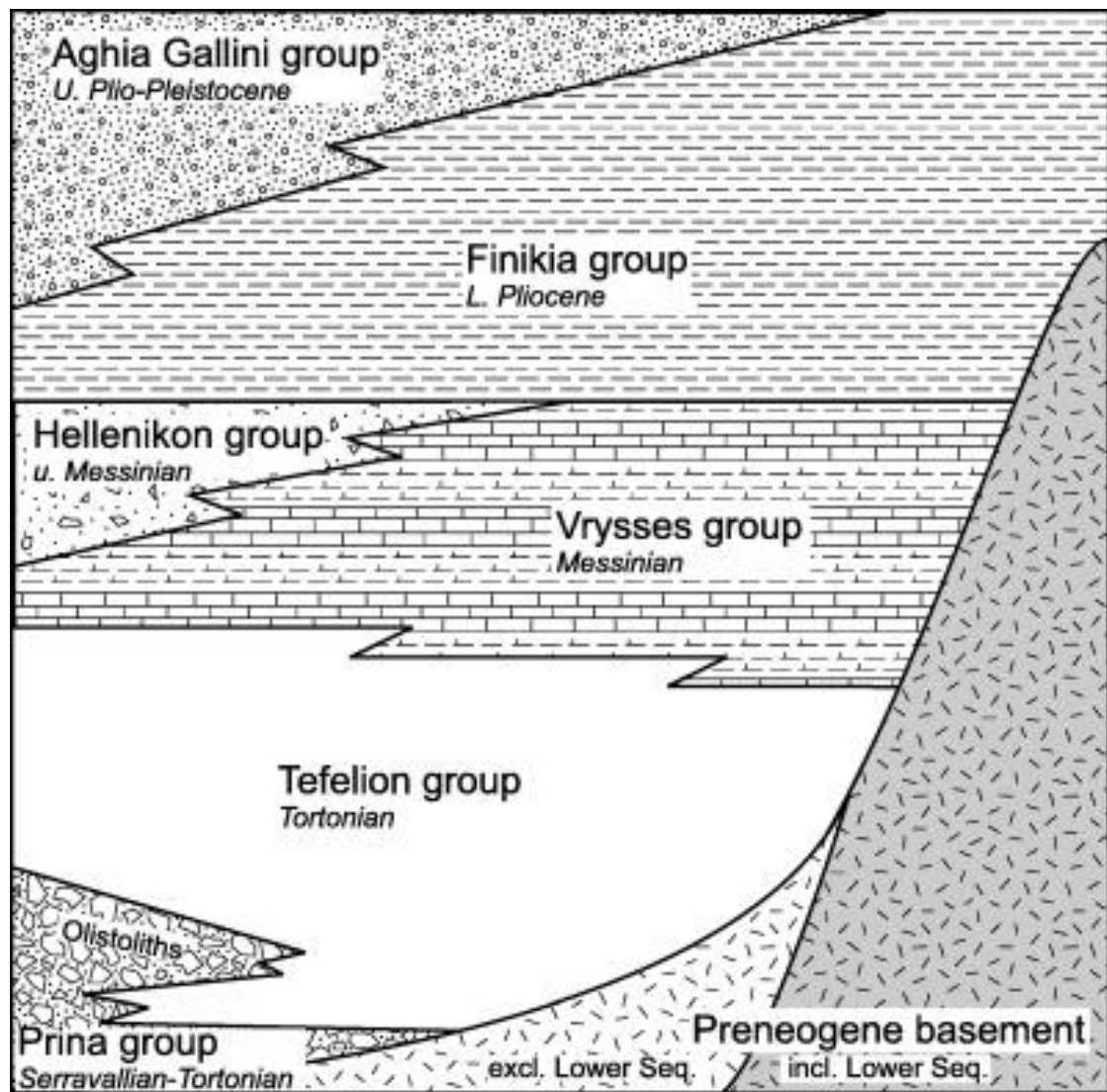
##### **1.5.2.5.1.Σχηματισμός Αγ. Γαλήνης**

Ο σχηματισμός της Αγ. Γαλήνης, αντιπροσωπεύει την ανώτερη Νεογενή ενότητα της κεντρικής Κρήτης (Meulenkaamp, 1979) και αποτελείται από χονδρόκοκκα κροκαλοπαγή, ηπειρωτικής προέλευσης (Meulenkaamp, et al., 1977), (ten Veen & Kleinsprehn, 2000). Η ηπειρωτική ακολουθία επικαλύπτει και αποτελεί, εν μέρει, την πλευρική εξέλιξη 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 το ανοικτό πέλαγος, σε ένα παράκτιο, υφάλμυρο και τελικά ηπειρωτικό περιβάλλον (Βασιλάκης 2006).

Τα περιθώρια της λεκάνης Μεσσαράς οριοθετούν μια δελταϊκή ακολουθία με κατακόρυφο πάχος μεγαλύτερο από 300 μέτρα, η οποία έχει ονομαστεί σχηματισμός Αγίας Γαλήνης (Meulenkaamp, et al., 1977).

Έτσι, στη συνέχεια παρατίθεται μια εικόνα (Εικόνα 1.8) που δείχνει μια σχηματική τομή που ορίζει την θέση των νεογενών σχηματισμών στη Κρήτη.





Εικόνα 1.8: Σχηματική τομή στην οποία διακρίνεται η σχετική θέση των Νεογενών σχηματισμών στην περιοχή της Κρήτης. (Meulenkamp, 1979)

### 1.5.3. Τεταρτογενείς σχηματισμοί

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)

Επιπλέον, τα ιζήματα αυτής της κατηγορίας, τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω σε όλους τους σχηματισμούς τόσο του αλπικού υποβάθρου όσο και των νεογενών αποθέσεων, αποτελούνται από χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, άμμων, κροκάλων, αργίλων και χαλίκων ασύνδετων έως ελαφρά συγκολλημένων.

Στα τεταρτογενή ιζήματα περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- Παράκτιες αποθέσεις (cd)
- Αλλουβιακές αποθέσεις (al) που συναντώνται στις παράκτιες πεδιάδες, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες και στις κοίτες και τις εκβολές των χειμάρρων.
- Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (SC-CS) που αναπτύσσονται στα πρανή των λόφων και των ορεινών όγκων.
- Αποθέσεις ερυθρογής (tr) κυρίως εντός των καρστικών εγκοίλων.
- Υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων (Pl.t) που απαντώνται στην ευρύτερη κοίτη των χειμάρρων και στις εξόδους των φαραγγιών.
- Χερσαία κοκκινωπά κροκαλοπαγή και άμμοι, εμφανίζονται κυρίως στις νότιες και βόρειες ακτές

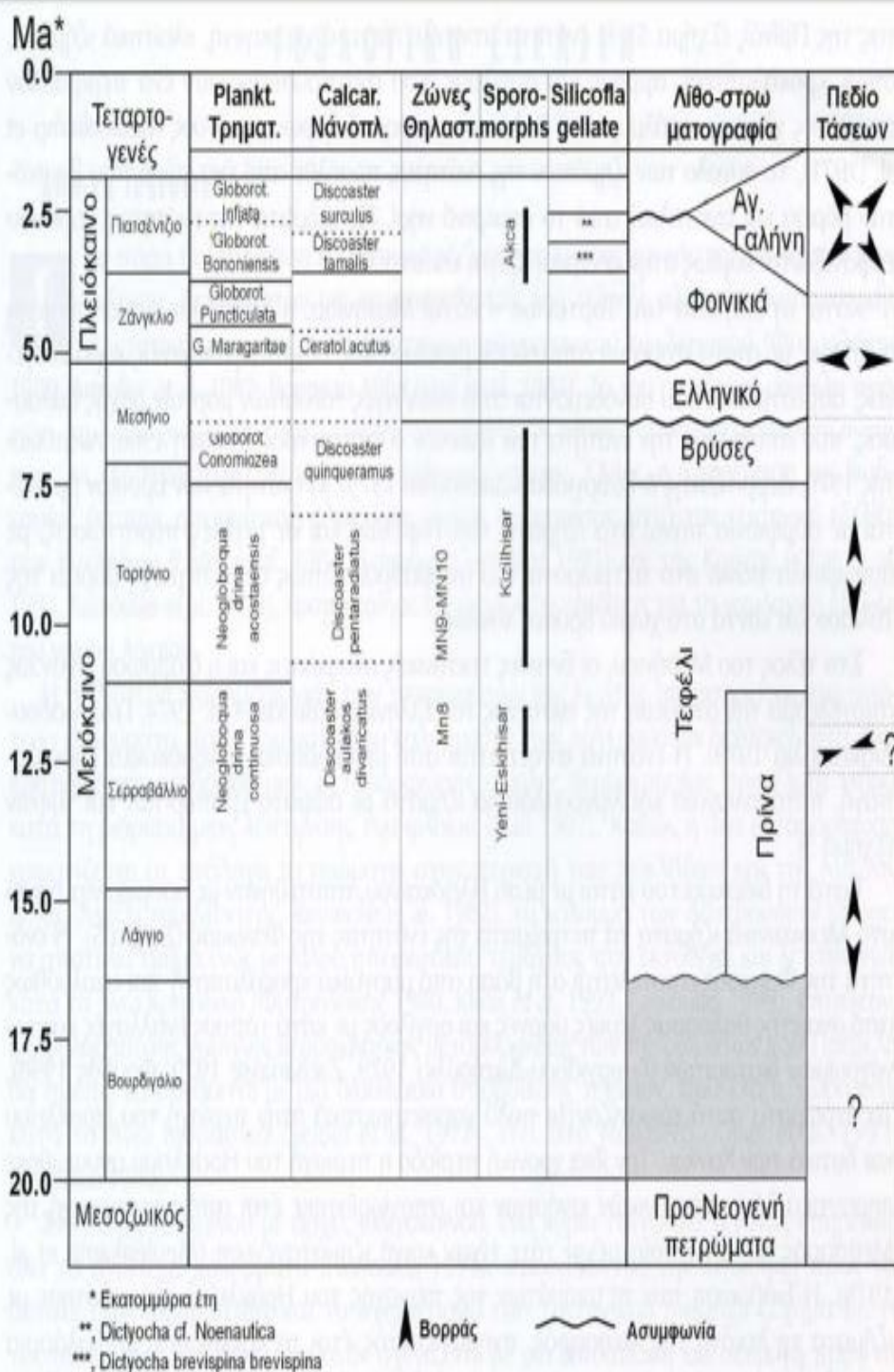
- Υλικά θαλάσσιων αναβαθμίδων (Pl.tn) σε διαφορετικά υψόμετρα.  
(Κριτσωτάκης, 2009)

Στην Εικόνα 1.9. παρατίθεται ένας χάρτης κατανομής αυτών στην Ελλάδα ενώ στην Εικόνα 1.10 παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακα της τεκτο-στρωματογραφίας των Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων. Ενώ



Εικόνα 1.9: Χάρτης με τις κυριότερες νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις του Ελληνικού χώρου  
(Rondogianni, 1984)

Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg764e/ch2/ch21.htm>



Εικόνα 1.10: Τεκτονο- στρωματογραφικός πίνακας των νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων της κεντρικής Κρήτης (Φασουλάς, 2000)

#### **1.5.4.Γεωλογικές συνθήκες της λεκάνης της Μεσσαράς**

*Η λεκάνη της Μεσσαράς εκτείνεται κατά διεύθυνση Α-Δ και αποτελεί το νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου. Η λεκάνη αυτή αποτελεί μια τεκτονική τάφρο που ορίζεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου - Καμαρών – Γέργερης στα δυτικά από τα ρήγματα Καστελίου – Χερσονήσου – Ξενιάκου (ανατολικά) και των Αστερουσίων ορέων (νότια). Η λεκάνη διακρίνεται σε δύο επιμέρους τεκτονικές ενότητες: Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι τεταρτογενείς και οι νεογενείς σχηματισμοί και στη δεύτερη ανήκουν οι προνεογενείς σχηματισμοί των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων ορέων, οι οποίες καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης (Κριτσωτάκης, 2009)*

Κατά το Ολόκαινο, παρατηρείται ότι μικρές εσωτερικές λεκάνες και κοίτες υδρορεμάτων καλύπτονται από αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες αποτελούν προϊόν αποσάθρωσης. Στην κατηγορία των αλλουβικών αποθέσεων κατατάσσονται τα χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες. Επιπλέον, παρατηρείται και η ύπαρξη κώνων κορημάτων και πλευρικά κορήματα, που αναπτύσσονται κυρίως στις παρυφές των Αστερουσίων, όπως για παράδειγμα είναι οι κυρίως ανθρακικής σύστασης λατύπες, αναμεμιγμένες με ερυθρογή.

Στη συνέχεια κατά το Πλειστόκαινο – Ολόκαινο, καλύπτεται το κεντρικό πεδινό της λεκάνης με τα εξής πετρώματα: ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμοι, ιλυόλιθοι και αργιλικά στρώματα αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού.

Επιπλέον, κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο γίνεται η απόθεση του σχηματισμού της Φοινικιάς. Επομένως, αποτίθενται τα εξής πετρώματα: κυρίως λευκές μάργες, με παρεμβολές αργίλων και άμμων, άργιλοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και κροκαλοπαγή.

Στο Ανώτερο Τορτόνιο-Μεσσήνιο αποτέθηκε ο σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας. Τα πετρώματα που περιλαμβάνει είναι: βιοκλαστικοί, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, ολισθημένοι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και εναλλαγές ασβεστιτικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων με παρεμβολές γύψων. Στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού απαντούν ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και

κροκαλοπαγή. Κατά την περίοδο Τορτόνιο γίνεται η απόθεση του σχηματισμού Αμπελούζου. Επομένως, παρουσιάζονται ακανόνιστες εναλλαγές από θαλάσσια υφάλμυρα και ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθους, μάργες, ιλυώδεις άργιλους και λιγνίτες.

Επίσης, κατά το Ανώτερο Σερραβάλλιο η απόθεση του σχηματισμού Σκοινιά, ο οποίος αποτελείται από καλά στρωμένες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι με παρεμβολές ψαμμιτών.

Τέλος, κατά το Μέσο Μειόκαινο αποτίθεται ο σχηματισμός Βιάννου, αποτελούμενος από ποταμολιμναίες σκούρες στρωματώδεις άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι, με ενδιαστρώσεις ασβεστόλιθων και ψαμμιτών. Επιπλέον, υπάρχουν και παρεμβολές κροκαλοπαγών κυρίως στα κατώτερα τμήματα του σχηματισμού.

Στη λεκάνη της Μεσσαράς όμως, υπάρχουν και προνεογενείς σχηματισμοί. Πιο συγκεκριμένα, οι σχηματισμοί αυτοί παρατηρούνται σε δύο τμήματα:

#### **Νότιο τμήμα**

Στα Αστερούσια όρη υπάρχουν μεσοζωικής ηλικίας πετρώματα, με βασικούς σχηματισμούς το φλύσχη και τα ανθρακικά της ζώνης Τρίπολης. Επιπλέον, υπάρχουν και επιφανειακές εμφανίσεις έντονα ρηγματωμένων και ελαφρώς καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι της ζώνης Πίνδου. Τέλος, στα μεγαλύτερα υψόμετρα απαντώνται πετρώματα των εσωτερικών ζωνών.

#### **Βορειοδυτικό τμήμα**

Στον Ψηλορείτη απαντώνται μεσοζωικά πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης, πετρώματα της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών και πετρώματα του αυτόχθονου συστήματος. Τέλος, παρατηρώντας τα χαμηλότερα υψόμετρα παρουσιάζονται Νεογενείς και Τεταρτογενούς ηλικίας σχηματισμοί.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΙΚΕΣ** **ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

### **2.1.Εισαγωγή**

Αντικείμενο της Υδρογεωλογίας είναι η μελέτη του υπόγειου νερού με σκοπό την ορθολογική εκμετάλλευσή του, ανάπτυξη μεθόδων αναζήτησής του και τέλος, την προστασία του από τη ρύπανση. Έτσι, η υδρογεωλογία μελετά τα παρακάτω:

- τον τρόπο διασύνδεσης του επιφανειακού και υπόγειου νερού
- τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύεται και κατανέμεται το νερό
- την κίνηση του υπόγειου νερού και το ρόλο της γεωλογικής σύστασης και δομής του υπεδάφους
- τα υδρομαστευτικά έργα, τους νόμους που διέπουν τις υπόγειες ροές προς αυτά και τη τεχνική κατασκευής τους.
- τα αποθέματα του υπόγειου νερού, το πώς μεταβάλλονται και το πώς μπορούν να εκμεταλλευτούν
- τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του υπόγειου νερού και την προστασία του
- τις μεθόδους αναζήτησής του υπόγειου νερού

Επιπλέον, κάποιες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο τομέα της Υδρογεωλογίας είναι οι παρακάτω:

- γεωλογικές, στηριζόμενες στη μελέτη της γεωλογικής δομής του εδάφους
- υδρολογικές, στηριζόμενες σε μετρήσεις όσον αφορά την ποσοτική αλλαγή του νερού
- μετεωρολογικές, με βάση τα μετεωρολογικά στοιχεία
- υδραυλικές, με βάση τους νόμους της υδραυλικής
- πιεζομετρικές, στηριζόμενες στη μεταβολή της πιεζομετρικής επιφάνειας υδροφόρων οριζόντων
- γεωφυσικές, επισήμανση υδροφόρων οριζόντων από μετρήσεις

## **2.2.Υδρολογική κατάσταση Κρήτης**

Οι γεωλογικές, τεκτονικές και μορφολογικές συνθήκες μια περιοχής παίζουν σημαντικό ρόλο για της υδρογεωλογικές συνθήκες της ίδιας. Ουσιαστικά, η τεκτονική δομή και η στρωματογραφία της περιοχής διαμορφώνουν την υδρογεωλογική λεκάνη αλλά και στα χαρακτηριστικά της.

Με βάση τα παραπάνω, ο Περγλέρος το 2003 διαχώρισε το νησί της Κρήτης σε τρεις υδρογεωλογικές ενότητες, οι οποίες είναι:

- η ενότητα των καρστικών (ανθρακικών) συστημάτων
- των πορωδών σχηματισμών
- των αδιαπέρατων πετρωμάτων

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν ενότητες αυτές, οι οποίες υπάρχουν στα Λευκά Όρη, τον Ψηλορείτη και Δίκτη-Σελένα. Επιπλέον, καρστικές ενότητες υψηλού ενδιαφέροντος υπάρχουν και στη Σητεία.

Στο νησί της Κρήτης επιπλέον, υδρογεωλογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα παρακάτω:

- είναι η ύπαρξη μεγάλων παράκτιων και υποθαλάσσιων υφάλμυρων καρστικών πηγών μαζί με τις αντίστοιχα μεγάλες καρστικές πηγές με καλής ποιότητας υπόγειο νερό
- η ανυπαρξία γεωλογικών φραγμών στις εκτεταμένες ανθρακικές εμφανίσεις προς τη θάλασσα σε συνδυασμό με παλαιογεωγραφικά αίτια έχουν συντελέσει στην υφαλμύριση σημαντικών καρστικών υδροφορέων.
- η ύπαρξη των ρηξιγενών ζωνών, σε πηγές, καθώς οι φυσικές πηγές τόσο των καρστικών συστημάτων όσο και των προσχωματικών υδροφορέων κείνται πάνω σε ρήγματα.

Το 1963 ο Canstany κατάφερε να ταξινομήσει τους σχηματισμούς χρησιμοποιώντας την υδροπερατότητα τους αλλά και τη γεωλογία τους. Έτσι, για τη ταξινόμηση των σχηματισμό με βάση τους προαναφερθέντες παράγοντας χρησιμοποιούνται οι παρακάτω χαρακτηρισμοί:



- Υψηλής υδροπερατότητας όταν  $K > 1 \cdot 10^{-2}$  m/s
- Μέτριας υδροπερατότητας όταν  $1 \cdot 10^{-2} > K > 1 \cdot 10^{-6}$  m/s
- Μικρής υδροπερατότητας όταν  $1 \cdot 10^{-6} > K > 1 \cdot 10^{-9}$  m/s
- Πρακτικά Στεγανοί σχηματισμοί όταν  $K < 1 \cdot 10^{-9}$  .

Στη συνέχεια, παρατίθεται ένας πίνακας 2.1 αναφοράς της λιθολογικής κατάστασης των πετρωμάτων σε σχέση με την κατείσδυση από τον Περλέρο. Όπου, κατείσδυση είναι τα κατακρημνίσματα το οποία διαπερνούν την επιφάνεια του εδάφους και προστίθενται στο υπόγειο νερό. Επιπλέον, το φαινόμενο της κατείσδυσης εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Την κατανομή και ένταση των βροχοπτώσεων μέσα στο υδρολογικό έτος
- Την φύση του υπεδάφους και εδάφους
- Την κλίση του εδάφους
- Την βλάστηση, την υγρασία, τον άνεμο και τη θερμοκρασία του εδάφους

Πίνακας 2.1: Συντελεστές κατείσδυσης υδρογεωλογικών ενοτήτων Ν. Κρήτης (Περλέρος , 2003)

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
<b>ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ</b>	
Καρστικοί σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (Κ1)	50% - 55%
Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (Κ3)	55%
Καρστικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Κ2)	40% - 45%
<b>ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ</b>	
Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Ρ1)	20%
Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Ρ2)	25%
Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Ρ3)	10%
<b>ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ</b>	
Πρακτικά αδιαπεράτοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Α1)	5%
Πρακτικά αδιαπεράτοι ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (Α2)	5% - 8%
<b>ΓΥΨΟΙ (g)</b>	50% - 55%

## **2.3.Υδρογεωλογικοί Σχηματισμοί**

### **2.3.1.Καρστικοί σχηματισμοί**

Στην περίπτωση των καρστικών σχηματισμών η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω ρωγμών ή καρστικών κενών. Παρακάτω διαχωρίζονται τα πετρώματα αυτού του σχηματισμού με βάση την υδροπερατότητα τους.

Υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (Κ1,) πετρώματα τα οποία ανήκουν σε αυτή την κατηγορία υδροπερατότητας είναι οι ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της Τρίπολης, τα ανθρακικά Τριπαλίου και οι Τριαδικοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιονίου ζώνης.

Σε αυτά τα συστήματα αναπτύσσονται υψηλού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.

Μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Κ2), ασβεστόλιθοι μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας, οι οποίοι οι ασβεστόλιθοι της ζώνης της Πίνδου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι παρεμβολές πυριτολίθων, κερατολίθων και αργιλικών σχιστολίθων καθορίζουν τη κυκλοφορία των ασβεστόλιθων αυτής της υδροπερατότητας. Επιπλέον, τα πετρώματα τέτοιας υδροπερατότητας έχουν και τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Κριτσωτάκης, 2009) :

- σε αυτά τα πετρώματα αναπτύσσονται και υπόγειες υδροφορίες
- λόγω του έντονου τεκτονισμού τους στις περιπτώσεις εκείνες που παρουσιάζουν και σημαντική επιφανειακή ανάπτυξη συμμετέχουν στην τροφοδοσία σημαντικών καρστικών πηγών
- Κατά θέσεις οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν το υδρογεωλογικό υπόβαθρο των υψηλής υδροπερατότητας ανθρακικών σχηματισμών, στην περίπτωση που έχουν μικρή υδροπερατότητα και η τεκτονική θέση τους το επιτρέπει.

Μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (Κ3), σε αυτή τη κατηγορία υδροπερατότητας ανήκουν τα μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή (Τοπολίων). Χαρακτηριστικό τους είναι η ανάπτυξη σημαντικών υδροφοριών που εκφορτίζονται μέσω αξιόλογων πηγών.

### **2.3.2.Πορώδεις σχηματισμοί**

Στην περίπτωση αυτών των σχηματισμών οι πορώδεις κόκκοι αποτελούν το μέσω κυκλοφορίας του νερού.

Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1) Αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων. Στους σχηματισμούς αυτούς και ιδιαίτερα στις σύγχρονες αποθέσεις των ποταμών και χειμάρρων, παρατηρείται η ανάπτυξη φρεάτιων υδροφορίων. Σε κάποιες περιπτώσεις οι υδροφορείς έχουν υποστεί κατά θέσεις, υποβάθμιση εξαιτίας της υφαλμύρινσης λόγω εισόδου του θαλασσινού νερού.

Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2).

Αποτελούνται από τα κροκαλοπαγή και τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους των νεογενών σχηματισμών. Παρατηρείται ότι τα πετρώματα αυτής της κατηγορίας βρίσκονται στις παρυφές των ορεινών ασβεστολιθικών όγκων και μερικές φορές τροφοδοτούνται πλευρικά από τους ασβεστόλιθους όταν η πιεζομετρία το επιτρέπει. Επιπλέον, υπάρχει και η ανάπτυξη υπόγειων υδροφορέων.

## **2.4.Υδρολιθικές Ενότητες λεκάνης της Μεσσαράς**

Στην λεκάνη της Μεσσαράς, μέρος της οποίας αποτελεί την περιοχή μελέτης για την παρούσα εργασία, υπάρχουν οι παρακάτω υδρολιθικές ενότητες:

### **2.4.1.Καρστικοί σχηματισμοί**

Συνίστανται από τα ανθρακικά πετρώματα των ενοτήτων της Πίνδου, της Τρίπολης και της Αυτόχθονου σειράς και καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης της Μεσσαράς. Βόρεια δομούν την οροσειρά της Ίδης και νότια την οροσειρά των Αστερουσίων ορέων όπου εκεί έχουμε μικρότερες εμφανίσεις. Μικρό ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού υδροφορέα της Ίδης απορρέει από τις πηγές της Γέργερης με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Ληθαίου- Γεροποτάμου και από τις πηγές του Ζαρού με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Τυμπακίου. Το μεγαλύτερο

ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού συστήματος της Ίδης απορρέει βόρεια στην υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου. Οι καρστικές εμφανίσεις των Αστερουσίων φιλοξενούν περιορισμένους υδροφόρους ορίζοντες με μικρό δυναμικό και το νερό τους χρησιμοποιείται κυρίως για την ύδρευση των οικισμών. (Κριτσωτάκης, 2009)

#### **2.4.2.Προσχωματικές αποθέσεις**

Καταλαμβάνουν το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσαράς και αποτελούν το σημαντικότερο υδροφορέα της περιοχής μελέτης. Συνίστανται από ποταμολιμναίες αλλουβιακές αποθέσεις. Επίσης συναντώνται μικρού πάχους και έκτασης αποθέσεις κατά μήκος των υδρορευμάτων (Κριτσωτάκης, 2009).

#### **2.4.3.Πλειστοκαινικές αποθέσεις**

Καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στο βόρειο τμήμα της πεδινής περιοχή. (Κριτσωτάκης, 2009)

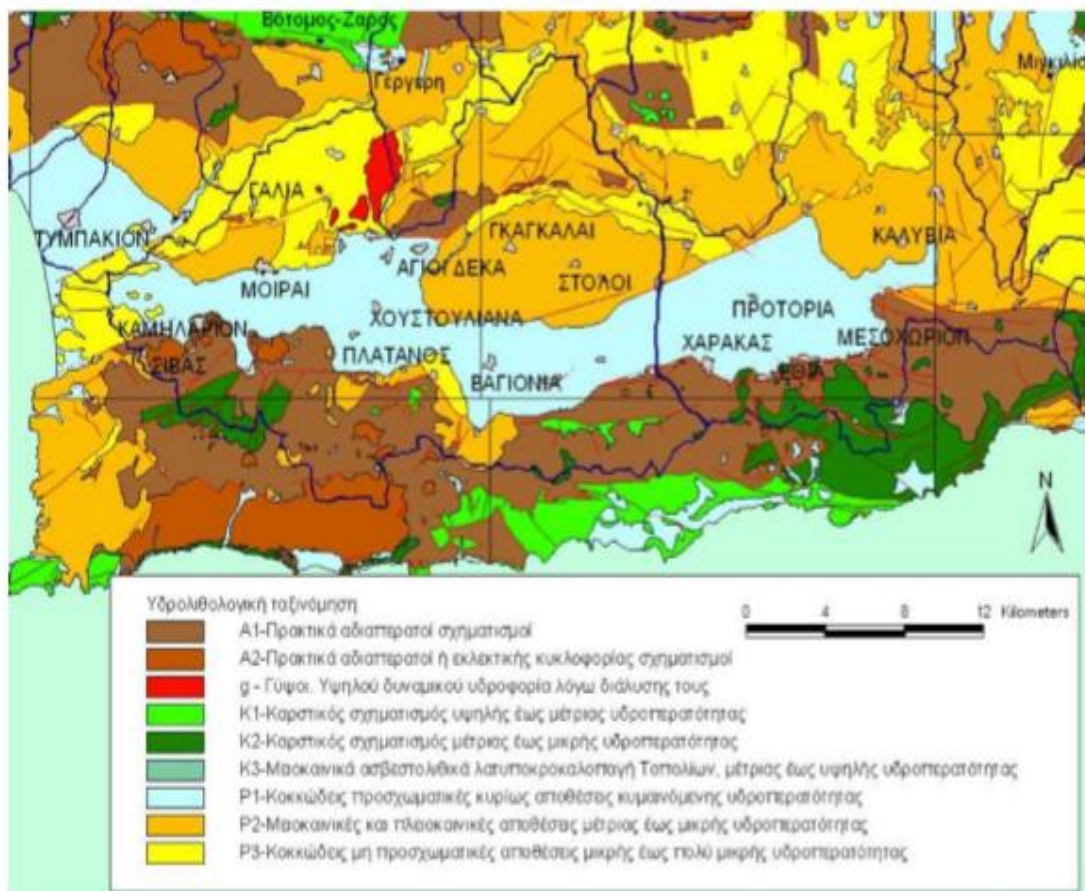
#### **2.4.4.Νεογενείς σχηματισμοί**

Καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης βόρεια των προσχωματικών. (Κριτσωτάκης, 2009)

#### **2.4.5.Πλειστοκαινικών αποθέσεων**

Σχηματίζουν το λοφώδες ανάγλυφο. (Κριτσωτάκης, 2009)

Στην παρακάτω Εικόνα 2.1, παρουσιάζεται ένας υδρολιθικός χάρτης της λεκάνης της Μεσαράς. Έτσι, παρουσιάζονται και όσα έχουν ήδη αναφερθεί για την υδρολιθική κατάσταση της λεκάνης.



Εικόνα 2.1: Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς (Περιφέρεια Κρήτης, 2009)

## 2.5.Υδροφορείς Μεσσαράς

Στη συνέχεια αναλύονται οι τρεις σημαντικοί υδροφορείς που διαθέτει η λεκάνη της Μεσσαράς.

### 2.5.1.Νεογενής υδροφορέας

Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν το υπόβαθρο της λεκάνης των τεταρτογενών αποθέσεων. Παρατηρείται ότι, υπάρχει μια ποικιλία, τα πετρώματα αυτά, ως προς τη σύσταση αλλά και τη στρωματογραφία. Επιπλέον, εδώ παρατηρείται η δημιουργία καινούργιων λεκανών στις οποίες εναποτίθενται οι καινούργιες αποθέσεις.

Οι νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από τα παρακάτω:

- εναλλαγές στρώσεων μεγάλου πάχους ιλυόλιθων, αργίλων και μαργών
- ενστρώσεις μικρότερου πάχους αποτελούμενες από άμμο, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστολίθους, που εμφανίζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον καθώς φιλοξενούν ασθενείς υδροφορίες υπό πίεση
- στη βόρεια περιοχή των Μοιρών, κατά θέσεις απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι με μικρή υδροφορία
- Κατά το τέλος του Τριτογενούς έλαβαν χώρα κατακόρυφες κινήσεις ανυψώνοντας τα διάφορα ρηξιτεμάχη, τα οποία στη συνέχεια υπέστησαν έντονη διάβρωση σχηματίζοντας τάφρους μέσα στις οποίες εναποτέθηκαν τα ποταμολιμναία στρώματα του Πλειστοκαίνου.

#### **2.5.2.Πλειστοκαινικός υδροφορέας (σχηματισμός Αγ. Γαλήνη)**

Ο Πλειστοκαινικός υδροφορέας αποτελείται από το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης. Έτσι, τα ιζήματα αυτά εναποτέθηκαν στα ρηξιτεμάχη των νεογενών σχηματισμών κάτω από ηπειρωτικές συνθήκες, κάτι που αποτελεί ποταμολιμναία φάση.

Χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου υδροφορέα είναι τα παρακάτω:

- στα κατώτερα (υψομετρικά) ρηξιτεμάχη (λεκάνη Μοιρών και Χάρακα), διατηρείται σε σχετικά καλή κατάσταση σε αντίθεση με των ανώτερων υψομέτρων που σχεδόν διαβρώθηκε και διατηρείται μόνο μία στρώση πολύ μικρού πάχους (λεκάνη Βαγιονιάς)
- επιφανειακά απαντούν στην περιοχή Καλυβιανής και των Γκαγκαλών, όπου το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας μετά την εναπόθεση των πλειστοκαινικών σχηματισμών ήταν σε κατώτερο υψόμετρο από ότι σήμερα και νέες τάφροι σχηματίσθηκαν από τη διάβρωση των κυρίων υδρορευμάτων του Γεροπόταμου, του Λιθαίου και του Αναποδάρη
- το μέγιστο βάθος των τάφρων αυτών καταγράφηκε στα 75 μέτρα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας στην περιοχή των Μοιρών και το μέγιστο που έχει καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή είναι 80 μέτρα στην περιοχή του Πλατύ (όμορη λεκάνη δυτικότερα του Τυμπακίου)

- στην έξοδο του Γεροποτάμου στη θάλασσα (περιοχή Τυμπακίου) το βάθος της τάφρου είναι της τάξης των 100 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους που ελαττώνεται προς τα ανάντη και στο ύψωμα της Φαιστού είναι 60 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Στις τάφρους αυτές εναποτέθηκαν οι τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις.

### **2.5.3.Αλλουβιακός υδροφορέας**

Στον υδροφορέα αυτό πραγματοποιούνται σύγχρονες ποταμολιμναίες αποθέσεις κροκαλοπαγών, άμμων, ιλυολίθων και αργίλων. Όμως, οι αναφερθέντες αποθέσεις διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την στρωματογραφική ηλικία και τη σύσταση.

Έτσι, λόγω των διαφορών που παρουσιάζουν οι αποθέσεις, ο αλλουβιακός υδροφορέας, χωρίζεται στις παρακάτω ενότητες.

- Αποθέσεις στις τάφρους διάβρωσης που καταλαμβάνουν μία ζώνη γύρω από τα κύρια υδρορέματα, όπου αφορά τις περιοχές Γεροπόταμος, Αναποδάρης και Λιθαίος.

Η ενότητα αυτή αποτελείται από εναλλαγές στρώσεων χαλίκων, αργίλου και ιλύος.

- Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα που καταλαμβάνουν κύρια τις νότιες περιοχές.

Η προέλευση των κορημάτων αυτών εξαρτάται από τη θέση στην οποία βρίσκονται. Επιπλέον, στις νότιες περιοχές εντοπίζονται περισσότερο χονδρόκοκκα και λατυποπαγή. Επιπλέον, παρατηρείται ότι σε κάποιες περιπτώσεις τα κενά που παρουσιάζουν τα χονδρόκοκκα πληρώνονται από λεπτόκοκκα υλικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της υδροπερατότητας και αποθηκευτικότητας του συγκεκριμένου υδροφορέα.

Στον υδροφορέα αυτό οι κώνοι κορημάτων χαρακτηρίζονται από ρο κοκκινωπό χρώμα και το μεγάλο πορώδες τους. Ενώ, τα πλευρικά κορήματα που προέρχονται από νεογενή πετρώματα συνίστανται από λεπτόκοκκα υλικά και γενικά περικλείουν ασθενείς υδροφορίες.

- Αποθέσεις που καλύπτουν την υπόλοιπη λεκάνη

Η σύσταση, στην ενότητα αυτή, εξαρτάται από τα πετρώματα που υπάρχουν στα περιθώρια της λεκάνης. Στη ενότητα που αποτελείται από το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης υπάρχει ένα λεπτό κάλυμμα από αποσαθρωμένα πλειστόκαινα υλικά. Ενώ, στις περιοχές που επικρατούν οι νεογενείς σχηματισμοί, το αλλουβιακό κάλυμμα συνίσταται από μάργες, ιλύς και άργιλο.

Συνοψίζοντας, με βάση τα παραπάνω, η λεκάνη της Μεσσαράς αποτελείται από άλλες μικρότερες λεκάνες οι οποίες διαφέρουν ως προς τις ιδιότητες των πετρωμάτων που τις αποτελούν. Όπου, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μικρότερων αυτών λεκανών καθορίζονται από τις ρηξιγενείς ζώνες της λεκάνης της Μεσσαράς. Στο σύνολο, η λεκάνη της Μεσσαράς, διακρίνεται από τρεις διαφορετικούς υδροφορείς.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ**

### **3.1.Γενικά**

*Ο άνθρωπος με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες του στράφηκε προς της εύρεση και εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και η γεωθερμική ενέργεια. Χρησιμοποιώντας τον όρο αυτό γίνεται αναφορά στο τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, δηλαδή περιορίζεται στα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).*

### **3.2. Συνθήκες δημιουργίας γεωθερμικής ενέργειας**

Οι συνθήκες κατά τις οποίες μπορεί να δημιουργηθεί γεωθερμική ενέργεια είναι η ύπαρξη σεισμών και ρηγμάτων. Η ύπαρξη τους συμβάλλει στην κυκλοφορία του μάγματος προς τα πάνω και κυρίως των γεωθερμικών ρευστών και την άνοδό τους προς την επιφάνεια της γης, μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας. Τα γεωθερμικά ρευστά φθάνουν πολλές φορές μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, δημιουργώντας φυσικά φαινόμενα ή εκδηλώσεις. Όπως είναι για παράδειγμα, οι υδροθερμικοί ή φρεατικοί κρατήρες. Η δημιουργία αυτών των κρατήρων είναι αποτέλεσμα της έκρηξης των υπέρθερμων γεωθερμικών ρευστών που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε μικρό βάθος υπό πίεση. Επιπλέον, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν θερμές πηγές, οι οποίες δεν είναι τίποτα περισσότερο φυσικές έξοδοι ζεστού νερού ,κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες , με θερμοκρασία που προσεγγίζει το σημείο ζέσεως του νερού. Στην εμφάνιση του φαινομένου αυτού συμβάλλουν οι αποθέσεις αλάτων και ο σχηματισμός ορισμένων πετρωμάτων στις περιοχές εκροής θερμών πηγών.

### 3.3. Γεωθερμικά συστήματα

#### 3.3.1. Γενικά

*Ως γεωθερμικό σύστημα εννοείται το σύστημα το οποίο βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελείται από «κινούμενο νερό » το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια «πηγή » σε μια «δεξαμενή » θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια (Hochstein, 1990).*

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το ρευστό. Το τελευταίο αποτελεί και το μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

#### 3.3.2. Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων

Κάποια από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να ταξινομηθούν τα γεωθερμικά συστήματα είναι τα παρακάτω:

- το είδος των γεωθερμικών πόρων
- ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών
- ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά
- το είδος της εστίας θερμότητας
- αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα

Χρησιμοποιώντας ως κριτήριο ταξινόμησης το είδος των γεωθερμικών πόρων τότε είναι δυνατόν να διακριθούν τα παρακάτω συστήματα:

- Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι, σε αυτό το σύστημα ανήκουν τα υπόγεια θερμά ρευστά τα οποία είναι δυνατόν να βρίσκονται είτε σε έναν είτε σε περισσότερους ταμιευτήρες. Επίσης, θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των γεωθερμικών πεδίων και η εκμετάλλευσή τους είναι άμεση.
- Αβαθής γεωθερμία (earth energy), σε αυτό το σύστημα παρατηρείται η λήψη ή και η απορρόφηση ποσοτήτων ενέργειας η οποία βρίσκεται σε μικρά βάθη. Αυτό οφείλεται στην ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από

λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Τέτοιου είδους γεωθερμική ενέργεια αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

- Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα (enhanced geothermal systems), σε αυτό το γεωθερμικό σύστημα γίνεται αναφορά στα θερμά πετρώματα σε βάθος από 2 μέχρι 10 km. Χρησιμοποιώντας γεωτρήσεις για να διοχετευτεί νερό στην επιφάνεια είναι δυνατόν από τα προαναφερθέντα πετρώματα να ανακτηθεί ενέργεια. Μάλιστα, η ενέργεια που θα ανακτηθεί είναι υπό την μορφή νερού ή ατμού μεγαλύτερης θερμότητας από την αρχική.
- Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα (geopressed systems), σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα ρευστά τα οποία είναι εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος. Επίσης, λόγω μη περατών πετρωμάτων βρίσκονται περιορισμένα και έχουν πίεση υψηλότερη από αυτή της υδροστατικής.
- Τα μαγματικά συστήματα (magma systems), εδώ σε μαγματικές διεισδύσεις και σε ένα μικρό σχετικό βάθος πραγματοποιείται απόληψη της θερμότητας μέσω γεωτρήσεων.

Χρησιμοποιώντας ως κριτήριο ταξινόμησης τον τύπο και την θερμοκρασία των ρευστών τότε διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων:

- Υψηλής ενθαλπίας, όπου η θερμοκρασία είναι υψηλότερη των 150 °C και η εκμετάλλευση σε αυτή την περίπτωση γίνεται για παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Μέσης ενθαλπίας, όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ των 80 °C και 150°C και η εκμετάλλευση γίνεται για θέρμανση ή ξήρανση ξυλείας αλλά και αγροτικών προϊόντων.
- Χαμηλής ενθαλπίας, όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 25°C και 80°C και η εκμετάλλευση γίνεται με σκοπό την θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες κλπ.

Όπου, ως ενθαλπία εννοείται η ικανότητα που έχουν τα σώματα να αποθηκεύουν θερμότητα. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας ενός σώματος ή συστήματος η οποία απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας του από το απόλυτο μηδέν, μέχρι της θερμοκρασίας T του σώματος ή του συστήματος.

### 3.4. Γεωθερμική Έρευνα

Κατά την εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών αρχικά πραγματοποιείται μια επιφανειακή έρευνα στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στην περίπτωση που η επιφανειακή έρευνα δείξει ότι τα ρευστά σχηματίζουν εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα τότε πραγματοποιείται αρχικά η ανόρυξη ερευνητικών και στη συνέχεια παραγωγικών γεωτρήσεων.

Έτσι, η γεωθερμική έρευνα που γίνεται διακρίνεται στα παρακάτω στάδια:

- Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας, αποτελεί το πρώτο στάδιο της έρευνας. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η επιλογή των περιοχών ενδιαφέροντος. Έτσι, για τον εντοπισμό των περιοχών χρησιμοποιούνται στοιχεία όπως είναι οι γεωλογικοί και τεκτονικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες, βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναγνωριστικές επισκέψεις, θερμομετρήσεις, δειγματοληψίες-αναλύσεις νερών κτλ.
- Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών, στο δεύτερο στάδιο της γεωθερμικής έρευνας πραγματοποιείται η έρευνα των παραγόντων που καθορίζουν και χαρακτηρίζουν την γεωθερμική περιοχή. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι γεωλογικοί, τεκτονικοί, ηφαιστειολογικοί, στρωματογραφικοί, λιθολογικοί, υδρογεωλογικοί, γεωχημικοί, γεωφυσικοί, θερμοδυναμικοί κτλ. Τέλος, στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται και ο καθορισμός του γεωθερμικού πεδίου των γεωθερμικών κοιτασμάτων. Επίσης, γίνεται γνωστή η θέση και η κατάσταση των γεωθερμικών ρευστών στην περιοχή ενδιαφέροντος.
- Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών. Αποτελεί το τρίτο στάδιο και σκοπό τους είναι ο προσδιορισμός των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών και των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εκτέλεση των πρώτων βαθιών γεωτρήσεων έρευνας και παραγωγής.
- Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων. Στο τελευταίο στάδιο της γεωθερμικής έρευνας γίνεται αναφορά στα μεγαλύτερα προβλήματα όσων αφορά τη διαχείριση και λειτουργία ενός γεωθερμικού πεδίου.

### **3.5.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατά τη χρήση γεωθερμικών συστημάτων**

Ένα από τα πλεονεκτήματα των γεωθερμικών συστημάτων είναι η μείωση του κόστους θέρμανσης αλλά και ταυτόχρονα του κόστους ψύξης γιατί παρέχουν ζεστό νερό για την κάλυψη των αναγκών μιας κατοικίας. Επίσης, χρησιμοποιώντας τα γεωθερμικά συστήματα παρατηρείται ότι δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον ως προς την εμφάνιση φαινομένων όπως είναι όξινη βροχή, φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κλπ. Πλεονέκτημα των γεωθερμικών συστημάτων αποτελεί και το γεγονός ότι διαρκούν περισσότερο από τα συμβατικά, καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα. Σε αντίθεση με ορισμένα συμβατικά συστήματα τα γεωθερμικά δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από τη συνεχή χρήση τους. Επίσης, τα γεωθερμικά συστήματα κατά την χρήση τους δεν συνοδεύονται από θόρυβο. Τέλος, σε μεγάλες εγκαταστάσεις είναι δυνατόν μπορούν να εξοικονομηθούν χρήματα, αφού παρέχεται η δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας από ζώνες του κτηρίου που είναι πιο ζεστές προς άλλες ψυχρότερες για τις ανάγκες θέρμανσης το χειμώνα και το αντίστροφο το καλοκαίρι για τις ανάγκες ψύξης.

Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα που παρουσιάζεται κατά την εκμετάλλευση είναι η δυσοσμία που προκύπτει από την ύπαρξη αερίων όπως είναι για παράδειγμα το υδρόθειο. Επιπλέον, παρατηρούνται προβλήματα με την επανέγχυση των γεωθερμικών ρευστών στον ταμειευτήρα μέσω γεώτρησης, τα οποία αντιμετωπίζονται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού δέσμευσης των παραγόμενων αερίων. Πρόβλημα αποτελεί και η διάβρωση που παρουσιάζεται αλλά και η δημιουργία αποθέσεων στις σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται κατά τη μεταφορά ρευστών. Τέλος, τα γεωθερμικά συστήματα έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού.

### **3.6. Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με αρκετά αξιόλογα γεωθερμικά πεδία (Εικόνα 3.1) τα οποία μπορούν να συμβάλουν στην ενίσχυση της οικονομίας της χώρας. Αρχικά να σημειωθεί ότι οι γεωλογικές συνθήκες της Ελλάδας οδήγησαν στην δημιουργία γεωθερμικών πεδίων και από τις τρεις κατηγορίες. Με το πέρασμα του χρόνου οι ερευνητές οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής

The map displays the Aegean Sea and surrounding regions, including the Ionian Sea to the west, the Cretan Sea to the south, and the Marmara Sea to the east. Numerous islands and coastal areas are labeled with specific hydrothermal vent locations and their associated temperature ranges. The vents are marked with red dots and lines connecting them to their respective labels. The temperature ranges are provided in degrees Celsius.

**Key locations and temperature ranges:**

- NIGRITA: 40-64°C
- SIDIRO-KASTRO: 40-75°C
- AGISTRO: 40-48°C
- N. ERASMO: 42-60°C
- N. KESSANI: 40-83°C
- MAGANA: 60-62.5°C
- MITRIKOLI: 30-40°C
- SAPPES LAKE: 30-40°C
- Tychero: 35-38°C
- ARISTINO: 30-90°C
- Therma: 99°C
- ERATINO: 40-70°C
- AKROPOTAMOS: 30-90°C
- N. APOLLONIA: 27-55°C
- Nymfopeia: 33-44°C
- LAGADAS: 33-40°C
- ANTHEMOUNTAS: 25-40°C
- Alexandria: 37.2°C
- Almopia: 25-42°C
- Skydra
- Zazari - Chimaditida
- Amarantos: 32°C
- Kavassila: 31°C
- Neapoli
- Therma Haplastos: 44°C
- Argennos: 86-90°C
- Kalloni: 46°C
- Therma: 46°C
- Gera: 39°C
- Livori: 58°C
- Agia Markella: 42°C
- Thimiana: 26-32°C
- NENITA: 54-82°C
- Agia Kiraki: 36°C
- Agios Kirikos: 90°C
- Agios Fokas: 45°C
- Agia Inini: 45°C
- NISYROS: ~350°C
- Kefalos: 24°C
- Prassa: 47-55°C
- MILOS: 40-325°C
- Zephyria
- SANTORINI: 30-85°C
- Ioanpetra: 75°C
- Souda: 72°C
- Methana: 32-35°C
- KYTHNOS
- Therma: 22°C
- Sourola: 29°C
- Voula: 30°C
- SOUSSAKI: 58-76°C
- Loutra Pausanias
- Loutra Kalata: 35-40°C
- Loutra Kilipi: 35°C
- RIZA - ANTIRIO: 36°C
- Thermopylae: 53-41°C
- Ypati: 33°C
- DAMASTIA: 43.5°C
- Platystomo: 29-35.3°C
- LICHADA: 41°C
- Aedipos: 72-62°C
- Kammena Vouria: 25-42°C
- Sofades
- SYKIES-ARIA: 32-50°C

**Scale:** 0, 30, 60 km

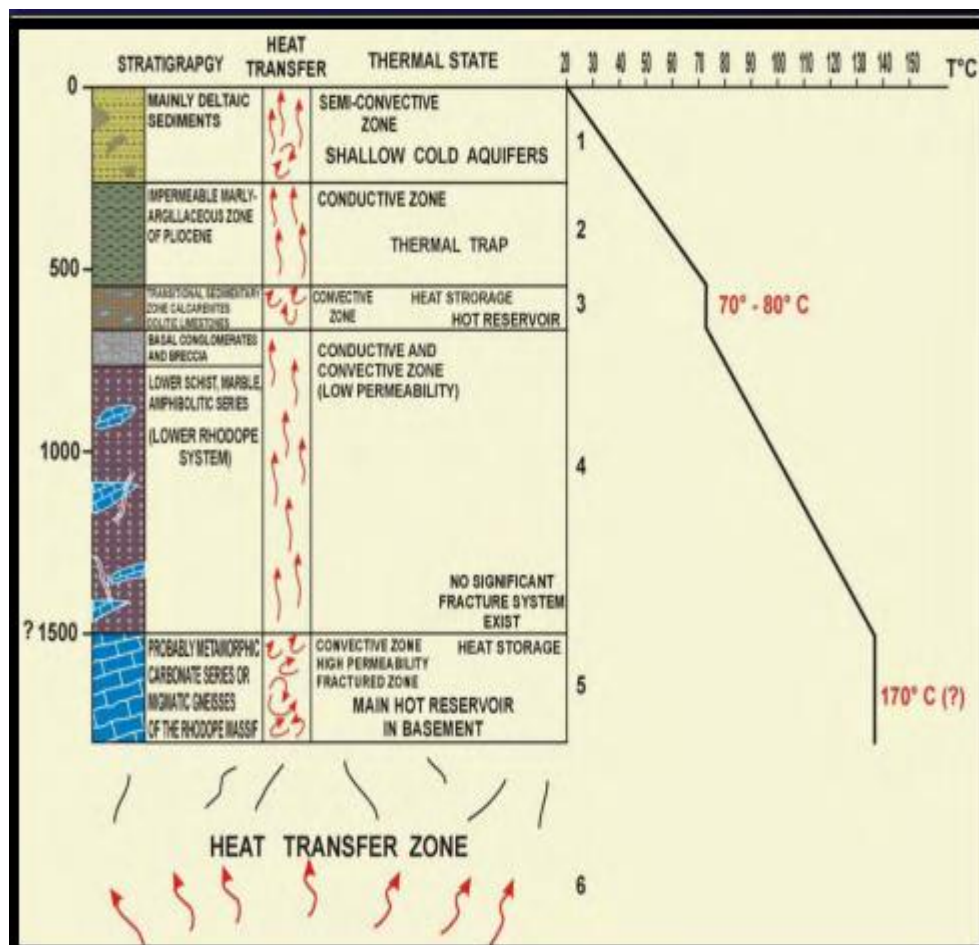
**Logo:** Hellenic Republic

Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/228341970\\_fig3\\_Figure-1-Geothermal-fields-and-areas-of-geothermal-interest-in-Greece-This-map-has](https://www.researchgate.net/figure/228341970_fig3_Figure-1-Geothermal-fields-and-areas-of-geothermal-interest-in-Greece-This-map-has)

Στο χάρτη της Εικόνας 3.1 παρουσιάζονται τα γεωθερμικά πεδία που υπάρχουν σε ολόκληρη την Ελλάδα. Όπως φαίνεται και από τον χάρτη, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα γεωθερμικά πεδία της Μήλου και της Νισύρου. Συγκεκριμένα, στην Μήλο έχουν μετρηθεί θερμοκρασίες έως και 325 °C σε βάθος 1000 m ενώ στην Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1500 m.

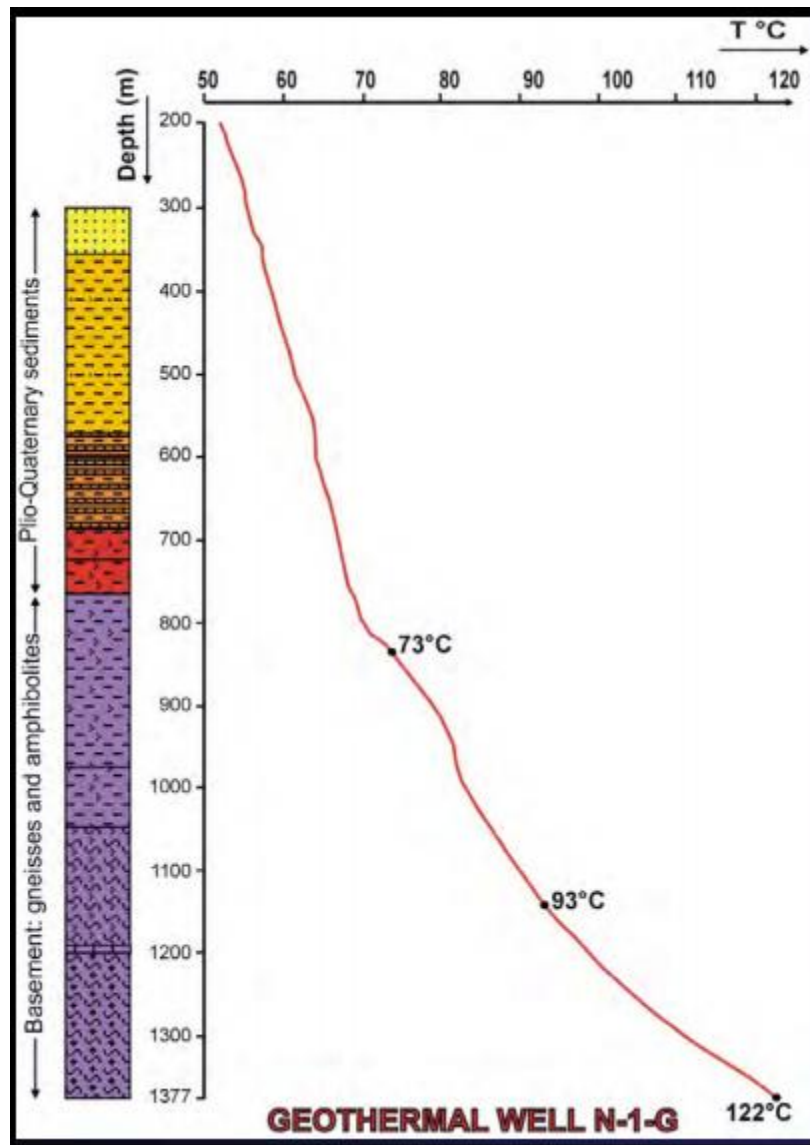
Επιπλέον, βάση του προαναφερθέντος χάρτη διακρίνονται τα παρακάτω σημαντικά γεωθερμικά πεδία:

- στην Βόρεια Ελλάδα, όπου η γεωθερμία χρησιμεύει για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες, ενδιαφέρει η λεκάνη του Στρυμόνα. Στην λεκάνη αυτή έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότροπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηρόκαστρου και Αγγίστρου.
- Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστου ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα γεωθερμικά πεδία στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Σε αυτή την περίπτωση τα νερά έχουν θερμοκρασία μέχρι 70 °C. Επιπλέον, οι συνθήκες επιτρέπουν την οικονομική εκμετάλλευσή τους. Στην Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82 °C. Στις εικόνες Εικόνα 3.2 και Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται ένα δείγμα που έχει ληφθεί από την λεκάνη Δέλτα Νέστου όπου παρουσιάζονται μετρήσεις της θερμοκρασίας ως προς το βάθος. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις είναι από την γεώτρηση N-1G της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά είναι ότι έχει γεωθερμική βαθμίδα 78 °C/km , βάθος γ/θ = 550-650 m και συνολικό πάχος υδροφορέων 40 m.



Εικόνα 3.2: Δεδομένα από γεώτρηση N-1G στην λεκάνη Δέλτα Νέστου (Φυτίκας, 2004)





Εικόνα 3.3: Δεδομένα από γεώτρηση N-1G στην λεκάνη Δέλτα Νέστου Κρήτης (Φυτίκας, 2004)

- Στην λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56 °C

Σε αντίθεση με το νησί της Μήλου, η Κρήτη παρουσιάζει δύο γεωθερμικά πεδία τα οποία είναι αυτό της Σούδας (ν. Χανίων) και της Ιεράπετρας (ν. Λασιθίου) τα οποία έχουν θερμοκρασία 32°C και 25°C αντίστοιχα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **4.1.Εισαγωγή**

Σκοπός της Γεωφυσικής είναι η μελέτη της Γης, τόσο του εσωτερικού της όσο και της εξωτερικής της ατμόσφαιρας, μέσω των νόμων της Φυσικής. Έτσι, η γεωφυσική ασχολείται με την μελέτη της θάλασσας, της ατμόσφαιρας και της ιονόσφαιρας.

Όντας εφαρμοσμένη επιστήμη, η γεωφυσική έρευνα έχει στόχο την αξιοποίηση των γεωφυσικών γνώσεων για πρακτικούς σκοπούς. Έτσι, οι γεωφυσικές μέθοδοι παρέχουν τις παρακάτω δυνατότητες:

- μελετάται η δομή και οι γεωδυναμικές διαδικασίες στο φλοιό και στον πάνω μανδύα της Γης που καθορίζουν τις θέσεις πολλών δομών οικονομικής σημασίας
- εντοπίζονται στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης δομές που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου ή φυσικών αερίων, με μεταλλεύματα, με πηγές γεωθερμικής ενέργειας, με ορυκτούς άνθρακες κλπ.
- προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων της Γης που έχουν σχέση με την κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων όπως Θεμελιώσεις γεφυρών, φραγμάτων κλπ.

Οι μέθοδοι που παρέχονται από την γεωφυσική μπορεί να είναι σεισμικές, βαρυτικές, μαγνητικές, ηλεκτρικές- ηλεκτρομαγνητικές, ραδιομετρική και θερμική.

Στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί, εκτός από γεωτρήσεις, ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής μελέτης. Όπου, οι βυθοσκοπήσεις αυτές αρχικά είχαν χρησιμοποιηθεί στη διπλωματική εργασία του Μορέλα, «Τρισδιάστατη Γεωλογική προσομοίωση του Πλειο-Τεταρτογενούς της πεδιάδας της Μεσσαράς». Έτσι, τα δεδομένα αυτά έχουν ληφθεί από το λογισμικό RockWorks, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στη διπλωματική εργασία του Μορέλας, (2014), υπό την μορφή excel και κατόπιν προστέθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία.

Στη συνέχεια, γίνεται μια αναφορά όσων αφορά τις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις αλλά και χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που αφορούν τις βυθοσκοπήσεις.

## **4.2.Ηλεκτρικές Μέθοδοι**

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διασκόπησης του υπεδάφους βασίζονται στον καθορισμό φυσικών φαινομένων μέσω της υπεδαφικής ροής του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, με τις ηλεκτρικές μεθόδους διασκόπησης καθορίζονται οι ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους και κατά συνέπεια προσδιορίζονται δομές ενδιαφέροντος. Για το σκοπό αυτό, η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση (V) και η ιδιότητα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους, η οποία και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι, ανάλογα με τη χρησιμοποίηση φυσικών ή τεχνικών πεδίων, διακρίνονται στις παθητικές μεθόδους και στις ενεργές μεθόδους.

### **4.2.1.Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης**

Σκοπός της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος με την χρήση και δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους εξαρτάται από την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα, αφού το ρεύμα διαρρέει τους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσω των ιόντων που είναι διαλυμένα στο νερό. Το νερό αυτό λοιπόν, βρίσκεται στους πόρους των σχηματισμών αυτών.

#### **4.2.1.1Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση**

Ως ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$  (Ohm\*m) ορίζεται μια χαρακτηριστική ιδιότητα των πετρωμάτων, η οποία υπολογίζεται από το νόμο του G. S. Ohm.

Ενώ τα επιφανειακά στρώματα της Γης θεωρούνται ομογενή στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει. Έτσι, έχει εισαχθεί ο όρος της Φαινόμενης Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. Ο όρος αυτός αντιστοιχεί στο μέσο σταθμισμένο (με την απόσταση που διανύει το ηλεκτρικό ρεύμα) όρο των τιμών των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων των διαφόρων υλικών από τα οποία διέρχεται το ρεύμα.

Στόχος της μέτρησης της φαινόμενης ειδικής αντίστασης είναι να καθοριστεί η πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους. Έτσι, η φαινόμενη ρα δίνεται από τη σχέση  $\rho_a = G \cdot \Delta V / I$  Όπου

•  $\Delta V$  : διαφορά δυναμικού

•  $G$  : ο γεωμετρικός συντελεστής της διάταξης των ηλεκτροδίων

#### **4.2.1.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση**

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

- **Είδος πετρώματος**, κάθε είδος πετρώματος ή εδάφους έχει μια χαρακτηριστική τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Τις μεγαλύτερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζουν τα πυριγενή πετρώματα και τα ιζηματογενή την χαμηλότερη τιμή. Το γεγονός ότι τα ιζηματογενή παρουσιάζουν τη χαμηλότερη τιμή οφείλεται στο γεγονός ότι αυτά περιέχουν ρευστά. Επίσης, τα μεταμορφωμένα πετρώματα παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.
- **Δομή και πορώδες**, ισχύει ότι το πορώδες και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογα. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ενός πετρώματος τόσο μικρότερο και το πορώδες του ίδιου πετρώματος.
- **Περιεκτικότητα σε άλατα**, η περιεκτικότητα του ρευστού πλήρωσης των πόρων σε άλατα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση.
- **Γεωλογικές διεργασίες**, οι οποίες μειώνουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων.
- **Ηλικία πετρώματος**, όσο μεγαλύτερη η γεωλογική ηλικία ενός πετρώματος τόσο μεγαλύτερη και η τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του.
- **Επιδράσεις αργιλικών ορυκτών**, έχοντας αυξημένη αγωγιμότητα τα αργιλικά ορυκτά ελαττώνουν την τιμή της επιφανειακής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

- **Θερμοκρασία**, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του.

#### **4.2.2.Γεωηλεκτρική Διασκόπηση**

Σκοπός είναι η μελέτη του τρόπου με τον οποίο διαδίδεται το ηλεκτρικό ρεύμα στο υπέδαφος. Οι μετρήσεις στην περίπτωση αυτή είναι επιφανειακές και δεν αφορούν κάποιο φυσικό πεδίο.

Στην ανώτερη λιθόσφαιρα τα πετρώματα παρουσιάζουν διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία εξαρτάται από τη λιθολογία και τη φυσική κατάσταση των πετρωμάτων. Έτσι, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων, αυτά παρουσιάζουν την παρακάτω αγωγιμότητα:

- τα μεταλλοφόρα κοιτάσματα παρουσιάζουν μεγάλη αγωγιμότητα
- τα εκρηξιγενή πετρώματα ή τα μάρμαρα παρουσιάζουν μικρή αγωγιμότητα
- τα συμπαγή πετρώματα και τα ξηρά εδάφη παρουσιάζουν μικρή αγωγιμότητα
- τα πορώδη πετρώματα και τα υγρά εδάφη δείχνουν μεγάλη αγωγιμότητα

Έχοντας δεδομένα ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή ηλεκτρικής αντίστασης και συνδυάζοντας τα με άλλα στοιχεία τότε είναι δυνατός ο καθορισμός των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους.

##### **4.2.2.1. Μέθοδοι Γεωηλεκτρικής Διασκόπησης**

Η γεωηλεκτρική διασκόπηση χωρίζεται σε δύο μεθόδους, την ηλεκτρική χαρτογράφηση και την ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

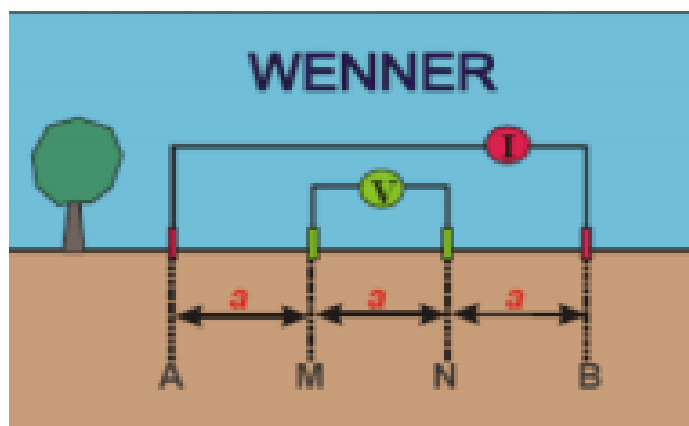
##### **4.2.2.1.1.Ηλεκτρική Βυθοσκόπηση**

Μέρος της ηλεκτρικής διασκόπησης αποτελεί η ηλεκτρική βυθοσκόπηση. Σκοπός της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι η μελέτη της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους. Έτσι, απεικονίζοντας την ηλεκτρική αντίσταση ως προς το βάθος παρέχεται η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων της με πληροφορίες από μια γεώτρηση. Αποτέλεσμα της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι ένα γράφημα ειδικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων οι οποίες παρέχονται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

- **Διάταξη Wenner**

Στην περίπτωση αυτή τα ηλεκτρόδια, δυναμικού και ρεύματος, τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (Εικόνα 4.1). Έτσι, για κάθε τιμή απόστασης των ηλεκτροδίων ( $a$ ) που υπολογίζεται ισχύει ο παρακάτω τύπος:



Εικόνα 4.1: Σχηματική διάταξη Wenner (Βαφείδης, 2011)

$\rho_a = 2\pi a \cdot (V_{MN} / I)$ , όπου :

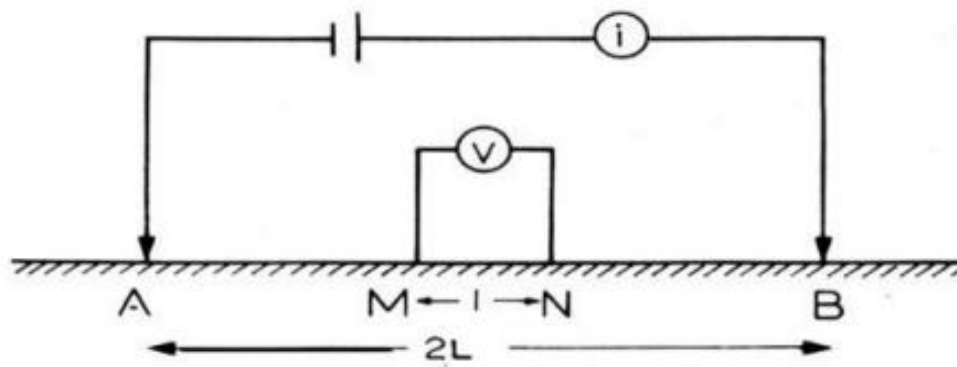
$V_{MN}$  είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού και

$I$  η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στην παραπάνω εξίσωση, η απόσταση  $a$  είναι ευθέως ανάλογη του βάθους διείσδυσης του ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος.

- **Διάταξη Schlumberger**

Στην πρώτη περίπτωση της διάταξης Schlumberger ο λόγος της απόστασης των ηλεκτροδίων δυναμικού προς την απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι πολύ μικρότερος από τον αντίστοιχο λόγο της διάταξης Wenner.



Εικόνα 4.2: Σχηματική διάταξη Schlumberger (Κίσσας, 2013)

Βλέποντας την παραπάνω Εικόνα 4.2, παρατηρείται ότι τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση  $a$  και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση  $b/2$  από το κέντρο της διάταξης. Έτσι, προκύπτει ότι:

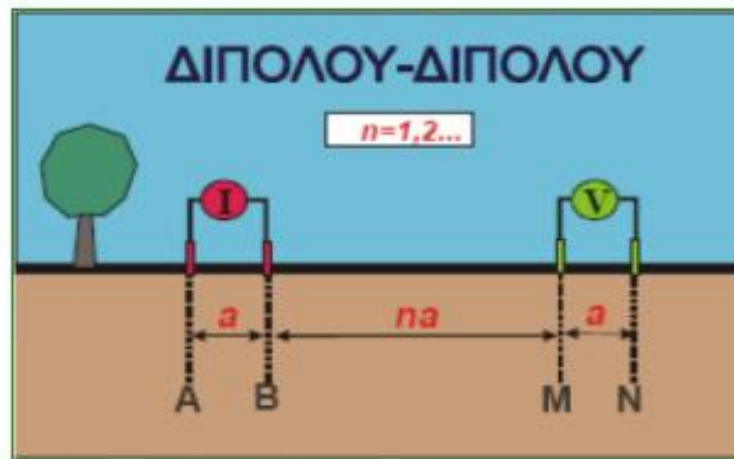
$$AB = 2a \text{ και } MN = b$$

Επιπλέον, ισχύει ότι η απόσταση που έχουν τα ηλεκτρόδια δυναμικού μεταξύ τους ( $b$ ) είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτή των ηλεκτροδίων ρεύματος ( $2a$ ).

- **Διάταξη διπόλου – διπόλου**

Τοποθετώντας τα ηλεκτρόδια ρεύματος συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης επιτυγχάνεται η διάταξη διπόλου-διπόλου. Βλέποντας την Εικόνα 4.3 παρατηρείται ότι τα χαρακτηριστικά για τις αποστάσεις ηλεκτροδίων σε αυτή τη διάταξη είναι τα παρακάτω:

- η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με  $a$
- $a$  είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού
- η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι ίση με  $na$ , και αποτελεί ακέραιο πολλαπλάσιο του  $a$



Εικόνα 4.3: Σχηματική διάταξη διπόλου-διπόλου (Βαφείδης, 2011)

Στη διάταξη αυτή ο τύπος για την φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι ο παρακάτω:

$$\rho_a = \pi \cdot n \cdot a \cdot (n+1)(n+2) \cdot \Delta V / I, \text{ όπου:}$$

- $\Delta V$  είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού
- $I$  η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος

#### 4.2.2.1.2. Τρόπος πραγματοποίησης της μεθόδου

Υπολογίζοντας τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή ακόμα και το βάθος των γεωλογικών σχηματισμών είναι δυνατή η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους.

Πραγματοποιείται λοιπόν, ο προσδιορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε κάποιο σταθερό σημείο στην επιφάνεια για διαφορετικές τιμές ενός γεωμετρικού συντελεστή  $K$ . Οι τιμές του συντελεστή αυτού αυξάνονται κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Για να γίνει κατορθωτή η αύξηση του γεωμετρικού συντελεστή  $K$  αυξάνεται συνεχώς η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ρεύματος που χρησιμοποιεί η μέθοδος. Παραμένοντας σταθερή η ποσότητα του ρεύματος και μεγαλώνοντας η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων, το ρεύμα διαρρέει μεγαλύτερα βάθη. Επιπλέον, παρουσιάζονται εναλλαγές υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης.



#### 4.2.2.1.3. Διαδικασία ηλεκτρικής βυθοσκόπησης

Η διαδικασία της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- αρχικά ορίζεται η ευθεία πάνω στην οποία θα γίνει η ανάπτυξη της γραμμής και θα πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν παράλληλα. Έτσι, ελέγχεται η περιοχή μελέτης πριν να ξεκινήσει η βυθοσκόπηση για την αποφυγή προβλημάτων όπως η ύπαρξη χειμάρρων, φαραγγιών, λόφων, οικημάτων, φρακτών κ.α.
- στη συνέχεια πραγματοποιείται σύνδεση του οργάνου με τα καλώδια, και τοποθετείται στο σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της βυθοσκόπησης (Ο) , το οποίο επιλέγεται ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής.
- κατά το τρίτο βήμα τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του σημείου Ο σε απόσταση  $MN/2$  και  $AB/2$  αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων Α, Β με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος  $i$  και δυναμικού  $V$ . Έπειτα τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση  $AB/2$  και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Η συνάρτηση μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης,  $\rho_a$ , με το βάθος σχεδιάζεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί κατά τη λήψη των μετρήσεων έτσι ώστε να ελέγχεται με ένα ακόμη τρόπο η αξιοπιστία των μετρήσεων.
- Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης  $AB/2$ , ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το  $0,1 \text{ mV}$ , η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του  $MN/2$  και για το ίδιο  $AB/2$  λαμβάνεται διπλή μέτρηση.
- Το μέγιστο μήκος της ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος καθορίζεται από το αν έχει εντοπιστεί γεωηλεκτρικά το πέτρωμα που στόχο έχει η βυθοσκόπηση. Η κατάσταση αυτή διαπιστώνεται από την ανοδική ή την καθοδική πορεία της καμπύλης.
- Η απόσταση του ημιαναπτύγματος  $AB/2$  και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την μετέπειτα επεξεργασία τους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

### **5.1.Εισαγωγή**

Η ανάγκη για χρήση ορυκτών πόρων, οι οποίοι θα βελτίωναν τον τρόπο ζωής των ανθρώπων, οδήγησε πριν περίπου 200 χρόνια στην πρώτη γεωλογική χαρτογράφηση περιοχών. Έτσι, από τις απεικονίσεις αυτές οι άνθρωποι μελετούσαν τις περιοχές ενδιαφέροντος ως προς τους ορυκτούς πόρους.

Συγκεκριμένα το 1815 ο William Smith, πάρα την έλλειψη τεχνολογικών έφτιαξε το πρώτο γεωλογικό χάρτη με τομές για την περιοχή Αγγλία-Ουαλία-Σκωτία. Ο χάρτης αυτός δεν είχε πολύ καλή ακρίβεια.

Στη συνέχεια, 100 περίπου χρόνια μετά εισάγονται στο τομέα της γεωλογικής χαρτογράφησης οι χάρτες στοιβάδων (stack – unit maps). Οι χάρτες αυτοί σκοπό είχαν την αποτύπωση της κατακόρυφης διαδοχής των γεωλογικών στρωμάτων.

Κατά το χρονικό διάστημα 1970 έως 1990, παρατηρείται σημαντική ανάπτυξη αφού πλέον, οι απεικονίσεις είχαν μεγαλύτερη κλίμακα απεικόνισης .

Επιπλέον, στα τέλη της δεκαετίας του 1970, ξεκίνησε η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), (*Geographical Information Systems – GIS*). Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης γεωγραφικής φύσης πληροφοριών (*Goodchild, 1987*).

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 η αξιοσημείωτη άνθηση στις εφαρμογές μοντελοποίησης με υπολογιστή οδήγησε στην ευρεία υιοθέτηση των ΣΓΠ (*Burrough 1986, Maguire et al. 1991*). Κατέστη δυνατή η χρήση ψηφιακών βάσεων δεδομένων, η οπτικοποίηση και ο χειρισμός γεωλογικών μοντέλων σε τρεις διαστάσεις με έναν κοινό υπολογιστή γραφείου (*De Donatis et al., 2009*). Έτσι, δόθηκε η δυνατότητα στις εφαρμογές μοντελοποίησης να επεκταθούν από την μοναδική, έως τότε, χρήση τους στη βιομηχανία των υδρογονανθράκων και να γίνουν ένα πρότυπο γεωλογικό εργαλείο για όλους (*Kessler et al., 2009; Rosenbaum & Turner, 2003; Royse et al. 2009; Xue et al., 2004*).

Για την γεωλογική μοντελοποίηση χρησιμοποιούνται μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης για την αναπαράσταση των γεωλογικών σχηματισμών ενσωματώνοντας με ενιαίο τρόπο την τοπογραφία, τη γεωμετρία και τις φυσικές ιδιότητές τους, εξετάζοντας παράλληλα και επιμέρους δεδομένα που συνδέονται με τους σχηματισμούς (Mallet, 2002).

Στη συνέχεια αναφέρονται οι τρόποι χρήσης των τρέχων λογισμικών πακέτων τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης

- Με τη χρήση αριθμητικών αλγορίθμων (*numerical approach*), για την παρεμβολή μεταξύ σημειακών δεδομένων, όπως π.χ. δεδομένα γεωτρήσεων (Mallet, 1992; Wycisk et al., 2009)
- Χρησιμοποιώντας μία πιο γνωστική και ερμηνευτική προσέγγιση (*cognitive approach*), η οποία δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης εξειδικευμένης γεωλογικής γνώσης από τον μελετητή κατά τη σύνδεση των δεδομένων (Hinze et al., 1999; Kessler et al., 2009).

Στην περίπτωση όπου, τα δεδομένα για την περιοχή μελέτης είναι αραιά ή αμφίβολης ορθότητας τότε το καλύτερο είναι ο συνδυασμός των παραπάνω τρόπων.

Επιπλέον, τα τρισδιάστατα γεωλογικά μοντέλα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες (Keefer et al., 2011):

- Μοντέλα που απεικονίζουν μόνο την οριοθέτηση των κατανομών των γεωλογικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης, ως προς τη λιθολογία ή τη λιθοστρωματογραφία που τις χαρακτηρίζει (γεωμετρικό μοντέλο). Δεν ορίζουν κάποια από τις ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών που τα δομούν, εκτός από περιπτώσεις που οι οριοθετημένες αποθέσεις διακρίνονται σε ζώνες κάποιας συγκεκριμένης ιδιότητας (π.χ. ηλεκτρική αγωγιμότητα κ.α.)
- Μοντέλα που απεικονίζουν τα όρια των αποθέσεων και ορίζουν σαφώς τις ιδιότητες (π.χ. πορώδες, διαπερατότητα, χημική σύσταση κ.α) των γεωλογικών σχηματισμών που περιλαμβάνουν (μοντέλο ιδιοτήτων). Η

κατασκευή τους απαιτεί υψηλότερη εξειδίκευση και ενεργή συμμετοχή από τον μελετητή ιδίως κατά το στάδιο της παρεμβολής και εμπεριέχουν μεγαλύτερο ποσοστό αβεβαιότητας από τα μοντέλα της πρώτης κατηγορίας.

Τα στάδια κατασκευής γεωμετρικών μοντέλων είναι τα παρακάτω:

- ανάπτυξη του γεωμετρικού μοντέλου πλαισίου
- υποδιαίρεση του βασικού γεωμετρικού πλαισίου

Η υποδιαίρεση που γίνεται στο δεύτερο στάδιο γίνεται ως προς τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας (λιθολογία, λιθοστρωματογραφία, τεκτονική κ.α.). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η υποστήριξη των αναλυτικών υπολογισμών που αφορούν τα μοντέλα ιδιοτήτων και τελικά, να αποδοθούν σωστά οι χωρικές μεταβολές, οι ερμηνείες και τα συμπεράσματα σχετικά με τις ιδιότητες των σχηματισμών. Επιπλέον, κατά την υποδιαίρεση γεωμετρικού μοντέλου πραγματοποιείται η κατασκευή επιφανειών που ορίζουν τη δομή και τις διεπαφές των γεωλογικών σχηματισμών. Ένας τρόπος κατασκευής των επιφανειών είναι οι αλγόριθμοι παρεμβολής, οι οποίοι χρησιμοποιούν δεδομένα από γεωτρήσεις. Όμως, η διαδικασία απαιτεί προσεκτική εξέταση κάθε επιφάνειας, καθώς η παρατηρούμενη πολύπλοκη αλληλουχία των γεωλογικών σχηματισμών δεν εναρμονίζεται πάντα με τη φιλοσοφία των διαθέσιμων αλγόριθμων παρεμβολής. Σε πολλές περιπτώσεις οι επιφάνειες τέμνονται μεταξύ τους, δημιουργώντας μη ρεαλιστικές απεικονίσεις.

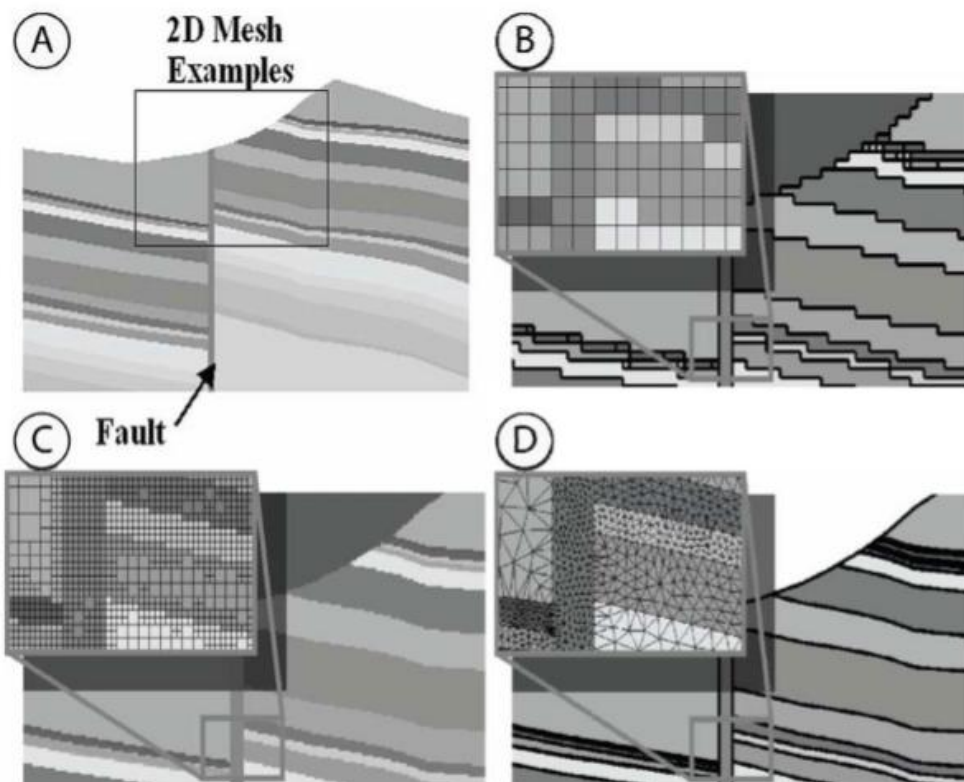
Με την εφαρμογή μεθόδων καναβοποίησης και μοντελοποίησης (Gridding - Modeling methods) πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του στερεού μοντέλου σε μικρότερα ογκομετρικά στοιχεία. Γενικά, παρατηρούνται οι παρακάτω δύο κατηγορίες πλεγμάτων:

- τα δομημένα (structured meshes)
- τα αδόμητα (unstructured meshes)

Στην Εικόνα 5.1, παρουσιάζονται οι τύποι πλεγμάτων που έχουν ήδη αναφερθεί. Ο πιο διαδεδομένος τύπος πλέγματος είναι το ορθογωνικό (Εικόνα 5.1B.), που διαιρεί το τρισδιάστατο ογκομετρικό μοντέλο σε μικρούς κύβους (voxels). Το μέγεθος των

κύβων αυτών καθορίζει τη γεωμετρία του μοντέλου, καθώς η γεωμετρική λεπτομέρεια είναι μικρότερη σε μεγαλύτερα ογκομετρικά στοιχεία, ενώ τα πολύ μικρά αυξάνουν το χρόνο επεξεργασίας. Σκοπός των τετραεδρικών δένδρων (quadtrees) είναι η δυνατότητα μεγαλύτερης ευελιξίας, έτσι πραγματοποιείται μεγαλύτερη απόδοση της ανάλυσης του πλέγματος όπου χρειάζεται (π.χ. κατά την μοντελοποίηση ιζηματογενών στρωμάτων, τα οποία κατανέμονται οριζοντίως παρά με κατακόρυφη διεύθυνση), ενώ δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην τρισδιάστατη απεικόνιση (Εικόνα 5.1C.).

Τα αδόμητα πλέγματα (Εικόνα 5.1D.) δεν περιορίζονται από σταθερή δομή, βασίζονται σε τετράεδρα, εξάεδρα κτλ. ογκομετρικά στοιχεία και είναι πλέον κατάλληλα για την προσομοίωση ρηξιγενών δομών. Η κατασκευή τους προϋποθέτει αυξημένες απαιτήσεις αναλυτικών υπολογισμών, χρόνου επεξεργασίας και εξειδικευμένων λογισμικών (Gable et al. 1996).



Εικόνα 5.1: Α. Τυπική γεωλογική τομή Β. Ορθογωνικό δομημένο πλέγμα (orthogonal cellular mesh) C. Quadtree (ή Q – Tree) (after Raphael Finkel & J. L. Bentley 1974) δομημένο πλέγμα (κάθε κύβος του πλέγματος διαχωρίζεται σε τέσσερις κύβους όταν επιτευχθεί η μέγιστη χωρητικότητα δεδομένων) D. Αδόμητο πλέγμα (Turner 2006, Turner & Gable 2007)

## 5.2.Εφαρμογές Προσομοίωσης

Κάποιοι τομείς στους οποίους χρησιμεύει η τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση είναι:

- Διαχείριση υδάτινων πόρων, στην περίπτωση αυτή χρησιμεύουν στην οριοθέτηση των υδροφόρων οριζόντων με τα ερμηνευτικά μοντέλα υπόγειας ροής, για την υποστήριξη αποφάσεων που σχετίζονται με τη διαχείριση των υπογείων υδατικών αποθεμάτων, την προστασία και την ανατροφοδότησή τους
- Διαχείριση αποβλήτων και μόλυνσης, χρησιμεύουν για την εκτίμηση των κινδύνων που συνδέονται με τη διάχυση και αποθήκευση επικίνδυνων αποβλήτων στα συστήματα υπόγειων υδάτων.
- Υδρογονάνθρακες και ενέργεια, πραγματοποιείται η ανίχνευση και η μοντελοποίηση των ταμιευτήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- Σχεδιασμός εκμετάλλευσης γης
- Γεωτεχνικά έργα και υποδομές, χρησιμεύουν γιατί η διεξαγωγή μελετών για την θεμελίωσή τους, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ευστάθεια και την σωστή λειτουργία των έργων (αυτοκινητόδρομοι, σήραγγες, αποχετεύσεις, φράγματα, κτήρια, χάραξη οδών κ.α.)
- Αρχαιολογία, χρησιμεύουν για την επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών για την προστασία των αρχαιολογικών χώρων
- Ορυκτοί πόροι, χρησιμεύουν για την εκτίμηση των αποθεμάτων τους, όπως και των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στο περιβάλλον από την πιθανή εκμετάλλευσή τους, γίνεται επίσης με λογισμικά προσομοίωσης
- Ερευνητικά προγράμματα, χρησιμεύουν στην διεξαγωγή γεωεπιστημονικών ερευνών (λιθοστρωματογραφία, τεκτονική κ.α.) και προσομοίωση των επιφανειών, των βαθών και των παχών των γεωλογικών σχηματισμών και διεργασιών σε περιοχές που δεν έχουν ακόμα μελετηθεί ή σε περιοχές με ελλιπή γεωλογικά δεδομένα

### 5.3.Λογισμικά Πακέτα Προσομοίωσης

Σκοπός των λογισμικών πακέτων είναι να καλυφθούν οι ανάγκες της τρισδιάστατης γεωλογικής προσομοίωσης. Έτσι, τα λογισμικά αυτά έχουν πυρήνα CAD εμπλουτισμένο με ειδικά εργαλεία και συναρτήσεις αριθμητικής, γεωμετρικής και χαρτογραφικής επεξεργασίας (τεκτονική ανάλυση, μοντελοποίηση ρηγμάτων και ροής υπόγειων υδάτων, χαρτογραφικά συστήματα συντεταγμένων κ.α.).

Οι λειτουργίες γεωστατιστικής επεξεργασίας που προσφέρουν τα λογισμικά αυτά πακέτα παρέχουν την δυνατότητα εκτίμησης των πολλών ιδιοτήτων, κάποιες από τις οποίες είναι:

- γεωχημική σύσταση
- μηχανικές ιδιότητες
- περατότητα

Αυτό γίνεται εφικτό από την εξειδικευμένη βάση δεδομένων για γεωτρήσεις (τυποποιημένο format σε όλα τα συστήματα), από χαρτογραφικό τμήμα και από λογισμικό παρουσίασης δισδιάστατων και τρισδιάστατων γραφικών (2D / 3D visualization).

Όπως έχει αναφέρει ο Kessler (2011) τα περισσότερα πακέτα λογισμικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δισδιάστατων και τρισδιάστατων γεωλογικών μοντέλων και χαρτών είναι τα παρακάτω:

- RockWorks, 1983-2012 by RockWare Incorporated
- Petrel by Schlumberger
- SKUA by Paradigm Geophysics
- GIM by Geocap AS
- Earth Modeling by Landmark Graphics Corporation
- IRAP RMS Suite by Roxar Software Solutions
- Earth Vision by Dynamic Graphics
- Jewel Suite by JOA Oil & Gas
- Geomodeller3D by Intrepid Geophysics
- GM-SYS, VOXI by Geosoft

- GeoScene3D
- Multilayer-GDM by BRGM
- GeoVisionary by Virtualis
- Isatis by Geovariance
- Move by Midland Valley Software
- Surfer by Golden Software
- Vulcan by Maptek
- Gocad (Geological Object Computer Aided Design) by Paradigm Geophysics
- GSI3D (Geological Surveying and Investigation 3D) by Hans-Georg Sobisch
- FastTracker (Reservoir Modelling) by Landmark Graphics
- ArcGIS by ESRI
- Leapfrog by Aranz Geo Ltd
- Surpac, Minex (stratified deposits) by Gemcom Software International

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει χρησιμοποιηθεί το λογισμικό πακέτο Rockworks17, by RockWare Incorporated. Αποτελεί την πρόσφατη έκδοση του λογισμικού Rockworks. Επιπλέον, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας παρατίθεται το παράρτημα του λογισμικού, κατά το οποίο παρέχονται οδηγίες χρήσεως.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

### **6.1. Εισαγωγή Δεδομένων**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί κάποια δεδομένα γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων από την διπλωματική εργασία του κ.Μορέλα «Τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση του Πλειό-Τεταρτογενούς τη πεδιάδας της Μεσσαράς» αλλά και του κ.Γιαννακάκου «Τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση της λεκάνης του Τυμπακίου με υποστήριξη γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων». Τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι αυτά που, βάση των συντεταγμένων τους, βρίσκονται μέσα στη περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.

Όπως αναφέρουν στις διπλωματικές τους εργασίες ο Μορέλας, (2014) και Γιαννακάκος, (2013) αντίστοιχα, κάποια από τα δεδομένα που χρησιμοποίησε αποτελούν μέρος του ερευνητικού προγράμματος F.A.O.1969 (Food and Agriculture Organization) και πιο συγκεκριμένα της έκθεσης «Survey N. 538: MESSARA PLAIN (Eastern Crete): Comparison Between Boreholes and Electrical Soundings Results». Ενώ, τα υπόλοιπα γεωτρητικά δεδομένα προέρχονται από το αρχείο γεωτρήσεων του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Συγκεκριμένα από την διπλωματική εργασία του Μορέλας, 2014 χρησιμοποιήθηκαν 67 γεωτρήσεις (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 1 και Πίνακας 2) και 103 βυθοσκοπήσεις (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 3, Πίνακας 4, Πίνακας 5). Ενώ από την διπλωματική εργασία του Γιαννακάκου, (2013) χρησιμοποιήθηκαν 2 γεωτρήσεις (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 6) και 1 βυθοσκόπηση (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 7).

Επιπλέον, από τις παραπάνω καινούργιες γεωτρήσεις (Πίνακας 6.1) στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι 17 λόγω του ότι οι γεωτρήσεις «agioi deka7» και «agioi deka8» είναι εκτός του χάρτη DTM. Οι γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται στην περιοχή ενδιαφέροντος και προέρχονται από αρχεία του δήμου Αστερουσίων, Αρχανών. Αρχικά, τα λιθολογικά δεδομένα αυτά βρίσκονταν σε έντυπη μορφή και στη συνέχεια μετατράπηκαν σε ψηφιακή μορφή

στο λογισμικό Rock Works 17. Στη συνέχεια, δόθηκε και σε αυτές τις γεωτρήσεις λιθοστρωματογραφική ερμηνεία με τα ίδια κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες.

Πίνακας 6.1: Δεδομένα καινούργιων γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	TotalDepth
agioi deka1	587093	3879126	145	210
agioi deka3	587343	3878899	120	125
agioi deka4	587394	3878737	154	200
agioi deka7	588876	3882010	42	394
agioi deka8	587583	3881249	117	504
ampelouzos1	583968	3877572	94	220
ampelouzos3	585765	3878698	131	150
apeswkari3	586789	3876040	109	170
mitropoli2	585935	3878902	132	127
mitropoli3	586054	3878957	134	115
platanos3	583682	3875294	85	204
platanos4	582725	3876125	84	205
platanos5	583211	3876813	84	168
plwra2	584822	3874709	214	214
plwra4	584799	3874589	205	100
xoustoulia1	584834	3876408	85	150
xoustoulia2	583933	3876989	83	180
xoustoulia4	586301	3877726	110	112
xoustoulia6	585468	3877421	111	168

στην παρούσα διπλωματική εργασία στα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί από την διπλωματική εργασία του Μορέλα, 2014 και του Γιαννακάκου, 2013 έχει γίνει έλεγχος ως προς τους χαρακτηρισμούς της στρωματογραφίας αλλά και της λιθολογίας. Συγκεκριμένα, στις γεωτρήσεις έγινε έλεγχος όσον αφορά τη στρωματογραφία. Σκοπός του ελέγχου αυτού ήταν ο εντοπισμός τυχών λαθών που ίσως να προέκυψαν κατά την εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό του RockWorks 17.

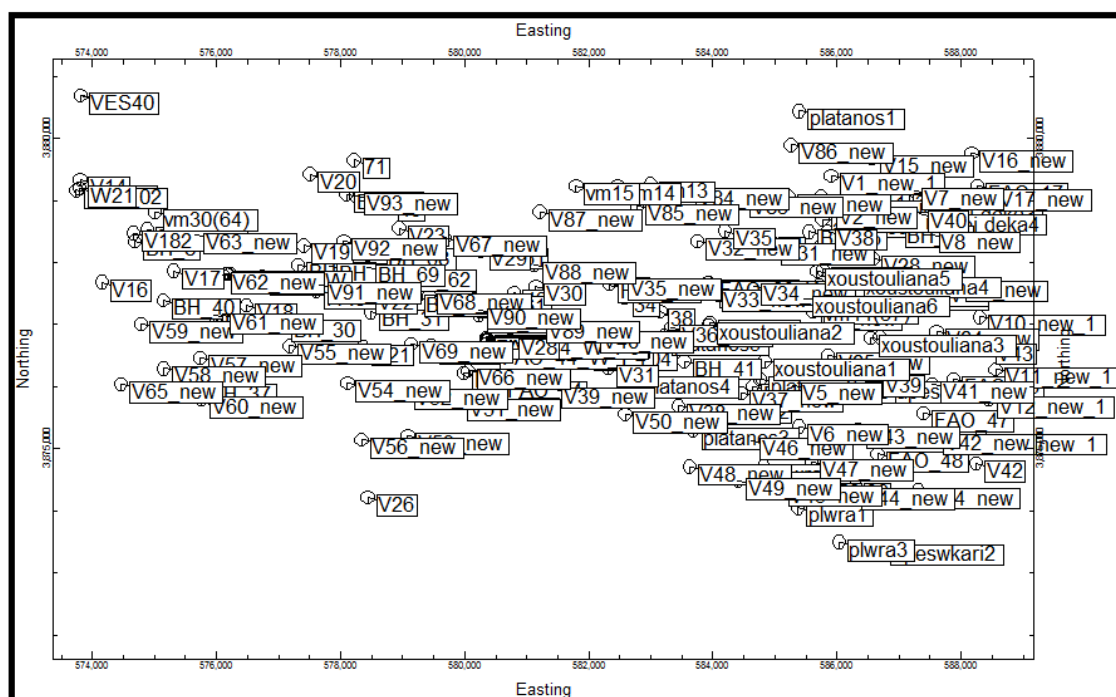
Εικόνα 6.1: Χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης

### 6.2.2. Περιοχή κύριου ενδιαφέροντος

Η περιοχή που παρουσιάζει κύριο ενδιαφέρον στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει τις παρακάτω συντεταγμένες (Εικόνα 6.2):

- Easting (minimum): 573715 km
- Easting (maximum): 588825 km
- Northing (minimum): 3871960 km
- Northing (maximum): 3880920 km

Όπου, στον άξονα Χ αντιστοιχούν οι τιμές του Easting και στον άξονα Υ οι τιμές του Northing. Με αύξοντα αριθμό από αριστερά προς δεξιά και από κάτω προς τα πάνω αντίστοιχα. (Εικόνα 6.2)



Εικόνα 6.2: Χάρτης περιοχής κυρίου ενδιαφέροντος

### 6.3. Λιθολογία Δεδομένων

Για την λιθολογική περιγραφή όλων των γεωτρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν είκοσι έξι λιθολογικοί τύποι. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 6.3) παρουσιάζονται οι λιθολογικοί τύποι που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα.

File Edit Density Units: Undefined						
	G-Value	Keyword	Pattern	Fill Percent	Density	Show in Legend
▶	1.0	clay		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	14.0	clayey gravels		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	19.0	clayey marl		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	10.0	clayey sand		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	6.0	clayey silt		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	18.0	conglomerate		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	20.0	flysch		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	4.0	gravelly clay		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	21.0	gravelly marl		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	12.0	gravelly sand		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	8.0	gravelly silt		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	13.0	gravels		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	21.0	limestone		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	19.0	marl		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	22.0	marly limestone		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	9.0	sand		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	13.0	sandstone		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	3.0	sandy clay		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	16.0	sandy gravels		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	20.0	sandy marl		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	7.0	sandy silt		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	25.0	schist		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	5.0	silt		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	2.0	silty clay		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	15.0	silty gravels		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>
	11.0	silty sand		100	1.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 6.3: Λιθολογικοί Τύποι χαρακτηρισμού λιθολογίας γεωτρήσεων

Σύμφωνα με την Εικόνα 6.2, οι λιθολογικοί τύποι μπορούν να χαρακτηριστούν στα ελληνικά ως:

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, sandy silt/αμμώδη ιλύ, gravelly marl / χαλικώδη μάργα, marly limestone / μαργώδης ασβεστόλιθος, conglomerate / κροκαλοπαγές, limestone / ασβεστόλιθος, schist / σχιστόλιθος, flysch / φλύσχης.

### 6.3.1 Λιθολογική ερμηνεία Βυθοσκοπήσεων

Για την λιθολογική ερμηνεία των βυθοσκοπήσεων ο Μορέλας (2014) είχε χρησιμοποιήσει τα κριτήρια διαχωρισμού, όπως αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

*Η αντιστοίχιση αυτή προέκυψε από ομαδοποίηση των τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από βυθοσκοπήσεις οι οποίες βρίσκονταν πλησίον γεωτρήσεων και επομένως ήταν δυνατή η αντιστοίχιση των τιμών αυτών με διατηρηθείσες λιθολογίες. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια πρόσφατης διπλωματικής εργασίας Γιαννακάκος (2013) και αφορούσε σε βυθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν σποραδικά σε όλη την έκταση της λεκάνης της Μεσσαράς (Μορέλας, 2014).*

Πίνακας 6.2: Λιθολογική ερμηνεία βυθοσκοπήσεων (Γιαννακάκος, 2013)

Εύρος τιμών ηλεκτρικής αντίστασης ( $\Omega$ )	Λιθολογία
5-14	Clay/ άργιλος
14-20	Silt/ ιλύς
20-40	Marl/Μάργα
40-80	Sand/ άμμος
80-140	Gravels/ χάλικες

#### 6.3.1.1. Λιθολογική Ερμηνεία Βυθοσκοπήσεων

Κατά τον έλεγχο των δεδομένων στο λογισμικό Rock Works 17 παρατηρήθηκε ότι, η βυθοσκόπηση από την διπλωματική εργασία του Γιαννάκου, (2013) (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 7) είχε μόνο δεδομένα όσων αφορά την ηλεκτρική αντίσταση τους. Βάση του Πίνακας 6.2, έγινε ο χαρακτηρισμός της λιθολογίας των συγκεκριμένων γεωτρήσεων χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ηλεκτρικής αντίστασης (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 8). Επιπλέον, στις βυθοσκοπήσεις που χρησιμοποιήθηκαν από την διπλωματική εργασία του κ.Μορέλα (2014) πραγματοποιήθηκε έλεγχος της λιθολογικής τους ερμηνείας βάση του Πίνακα 6.2.

Τέλος, σκοπός του λιθολογικού χαρακτηρισμού των βυθοσκοπήσεων είναι η παροχή περισσότερων στοιχείων λιθολογίας στο μοντέλο απεικόνισης της.

#### **6.5.Σύγκριση γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων περιοχής ενδιαφέροντος**

Ένας από τους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση λιθολογίας από τα πρωταρχικά δεδομένα που δόθηκε στις πρόσθετες γεωτρήσεις με της λιθολογικής ερμηνείας των κοντινότερων βυθοσκοπήσεων.

##### **6.4.1.Επιλογή κοντινότερων βυθοσκοπήσεων ως προς τις νέες γεωτρήσεις**

Το κριτήριο επιλογής των βυθοσκοπήσεων ήταν να απέχουν από τις γεωτρήσεις αποστάσεις  $\pm 500\text{m}$  ως προς τις συντεταγμένες τόσο στο Easting όσο και στο Northing. Όμως, κατά την επιλογή των βυθοσκοπήσεων παρατηρήθηκε ότι σε κάποιες από τις γεωτρήσεις δεν υπήρχαν βυθοσκοπήσεις σε τόσο κοντινές αποστάσεις. Έτσι, το κριτήριο άλλαξε και έγινε για βυθοσκοπήσεις οι οποίες απέχουν  $\pm 1000\text{m}$  αντίστοιχα.

Στις συγκεκριμένες γεωτρήσεις, όπως και στις υπόλοιπες, από τα πρωταρχικά δεδομένα ηλεκτρικών αντιστάσεων έγινε η λιθολογική τους ερμηνεία με το ίδιο κριτήριο ερμηνείας( Βλέπε Πίνακα 6.2). Οι μεταβολές των ηλεκτρικών αντιστάσεων των βυθοσκοπήσεων της περιοχής ενδιαφέροντος παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

##### **6.4.2.Περιγραφή λιθολογικών δεδομένων γεωτρήσεων και λιθολογική ερμηνεία βυθοσκοπήσεων**

Κατά την απεικόνιση των πρωταρχικών λιθολογικών δεδομένων των γεωτρήσεων και των λιθολογικών ερμηνειών των βυθοσκοπήσεων η σειρά απεικόνισης τους έγινε ανάλογα με τις συντεταγμένες τους. Επιπλέον, κατά τον σχολιασμό των απεικονίσεων λήφθηκε υπόψη η απόσταση των βυθοσκοπήσεων από την κάθε γεώτρηση με βάση τον τύπο:

$$\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (\text{τύπος 6.1})$$

όπου  $X_2$  και  $Y_2$  είναι πάντα οι τιμές από τις συντεταγμένες Easting και Northing αντίστοιχα της γεώτρησης.

Έτσι, από το παραπάνω κριτήριο επιλογής συγκεντρώθηκαν 30 βυθοσκοπήσεις. (Βλέπε Παράρτημα Πινάκων, Πίνακας 9, Πίνακας 10, Πίνακας 11)

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι, η περιγραφή λιθολογικών γεωτρήσεων για τις γεωτρήσεις «agioi deka7» και «agioi deka8» και σύγκριση τους με τις κοντινότερες τους βυθοσκοπήσεις έγινε με σκοπό την σύγκριση των λιθολογικών ερμηνειών των βυθοσκοπήσεων με επιπλέον λιθολογικές περιγραφές. Έτσι, παρέχονται περισσότερες πληροφορίες για την γύρω περιοχή των βυθοσκοπήσεων και γίνεται μια πιο αντικειμενική ερμηνεία όσων αφορά την λιθολογία τους.

#### **6.4.2.1.Γεώτρηση «agioi deka1»**

Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 6.4 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V7new» και η «V16new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «agioi deka1» : Easting: 587093 , Northing: 3879126 , Elevation: 145
- «V7new» : Easting: 587239.089763, Northing: 3879156.14756, Elevation: 138
- «V16new»:Easting: 588166.777214, Northing: 3879763.65970, Elevation: 188

Παρατηρείται ότι το υψόμετρο της βυθοσκόπησης «V16new» έχει απόκλιση από το υψόμετρο της γεώτρησης 43m, κάτι που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

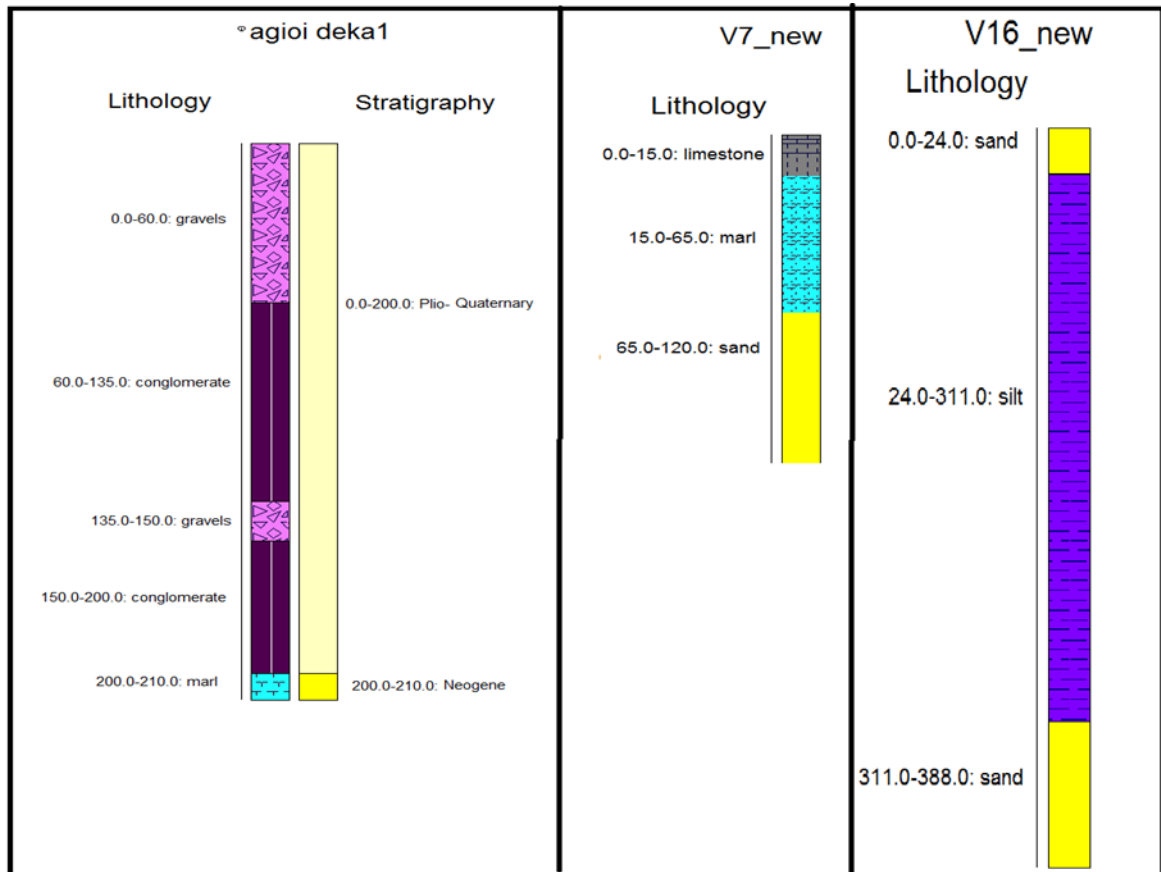
Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V7new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 149m βορειοανατολικά της γεώτρησης ενώ η βυθοσκόπηση «V16new» βρίσκεται 1248m βορειοανατολικά. Έτσι, δεδομένου του ότι η βυθοσκόπηση «V16new» απέχει μεγάλη απόσταση από τη γεώτρηση «agioi deka1» δεν θα ληφθεί υπόψη.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.4 παρατηρείται ότι:

- η εμφάνιση μάργας στα 200m βάθους στη γεώτρηση αλλά και στα 15m στη βυθοσκόπηση «V7new» με την μάργα στη βυθοσκόπηση να έχει μεγαλύτερο πάχος, της τάξεως των 50m.



- Εμφάνιση άμμου στα 65-120m της βυθοσκοπήσης «V7new» αλλά και στα 0-24m και 311-388m της βυθοσκοπήσης «V16new».
- Εναλλαγές χαλικιών και κροκαλοπαγών στα πρώτα 200m της γεώτρησης.



Εικόνα 6.4: Απεικόνιση γεώτρησης «agioi deka1» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.2.Γεώτρηση «agioi deka3»

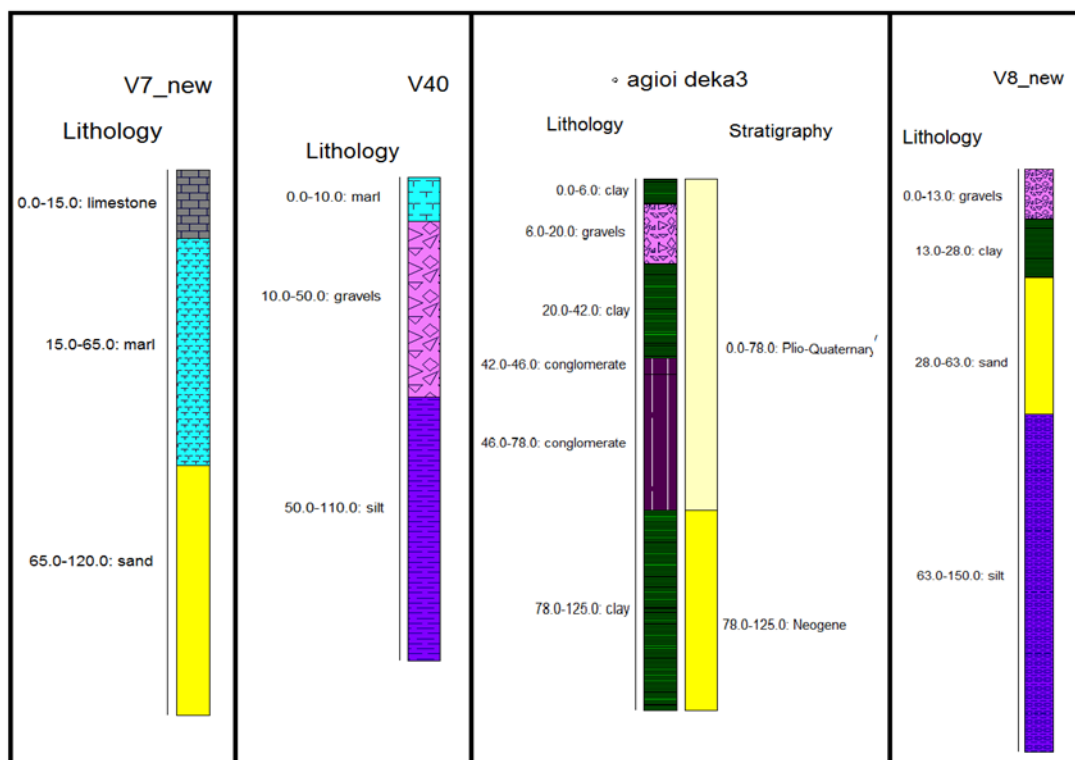
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.5. οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V7new», «V40» και η «V8new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «agioi deka3» : Easting: 587343 , Northing: 3878899, Elevation: 120
- «V7new» : Easting: 587239.089763, Northing: 3879156.14756, Elevation: 138
- «V40» : Easting: 587327,3432, Northing: 3878793, Elevation: 135
- «V8new»: Easting: 587505.9025, Northing: 3878454, Elevation: 130

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V7new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 277m βορειοδυτικά, η βυθοσκόπηση «V40» βρίσκεται 107m νοτιοδυτικά και η «V8new» βρίσκεται 474m περίπου νοτιοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.5 παρατηρείται ότι:

- η εμφάνιση μάργας στα 15-65m βάθους στη βυθοσκόπηση «V7new» αλλά και στα 0-10m στη βυθοσκόπηση «V40». Όπου η γεώτρηση «V7new» βρίσκεται πιο μακριά από την γεώτρηση και πιο πάνω από την βυθοσκόπηση «V40» ως προς τη τιμή του Northing.
- η εμφάνιση χαλικιών στη βυθοσκόπηση «V40» από 10-50m. Χαλίκια παρατηρούνται και στα 6-20m και 78-125m της γεώτρησης αλλά και στα 0-13m της βυθοσκόπησης «V8new».
- η εμφάνιση άργιλου στη γεώτρηση στα 20-42m ενώ και στη βυθοσκόπηση «V8new» στα 13-28m.
- Η εμφάνιση άμμου στη βυθοσκόπηση «V7new» στα 65-120m και στη βυθοσκόπηση «V8new» στα 28-63m
- Η εμφάνιση ιλύς στη βυθοσκόπηση «V40» στα 50-110m και στη «V8new» στα 63-150m



Εικόνα 6.5: Απεικόνιση γεώτρησης «agioi deka3» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.3.Γεώτρηση «agioi deka4»

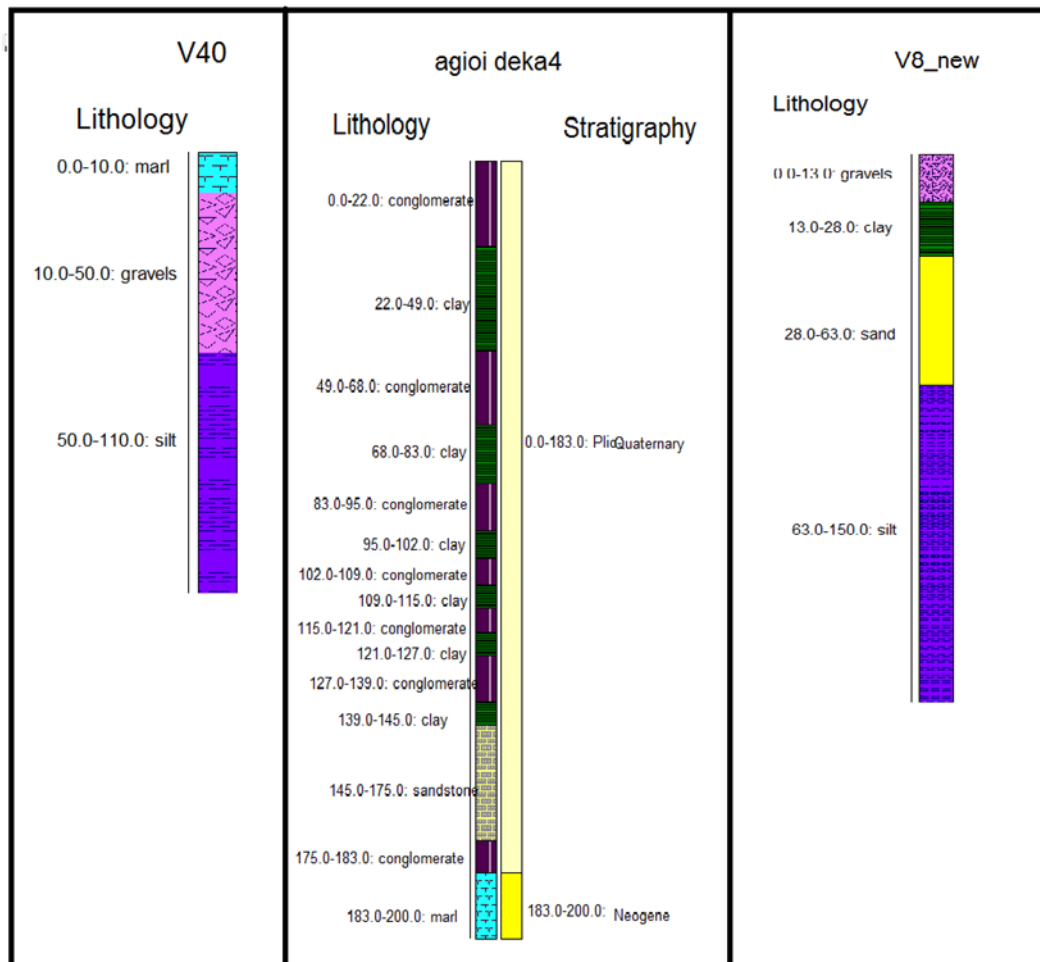
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.6 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V40» και η «V8new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «agioi deka4» : Easting: 587394 , Northing: 3878734, Elevation: 154
- «V40» : Easting: 587327,3432, Northing: 3878793, Elevation: 135
- «V8new»: Easting: 587505.9025, Northing: 3878454, Elevation: 130

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V40» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 89m βορειοδυτικά και η «V8new» βρίσκεται 301m περίπου νοτιοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.6 παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση μάργας στα 0-10m της βυθοσκοπήσης «V40» αλλά και στα 183-200m της γεώτρησης.
- Εμφάνιση χαλικιών στα 10-50m της βυθοσκοπήσης «V40» και στα 0-13m της βυθοσκοπήσης «V8new».
- Εμφάνιση ιλύς στα 50-110m της βυθοσκοπήσης «V40» και στα 63-150m της βυθοσκοπήσης «V8new»

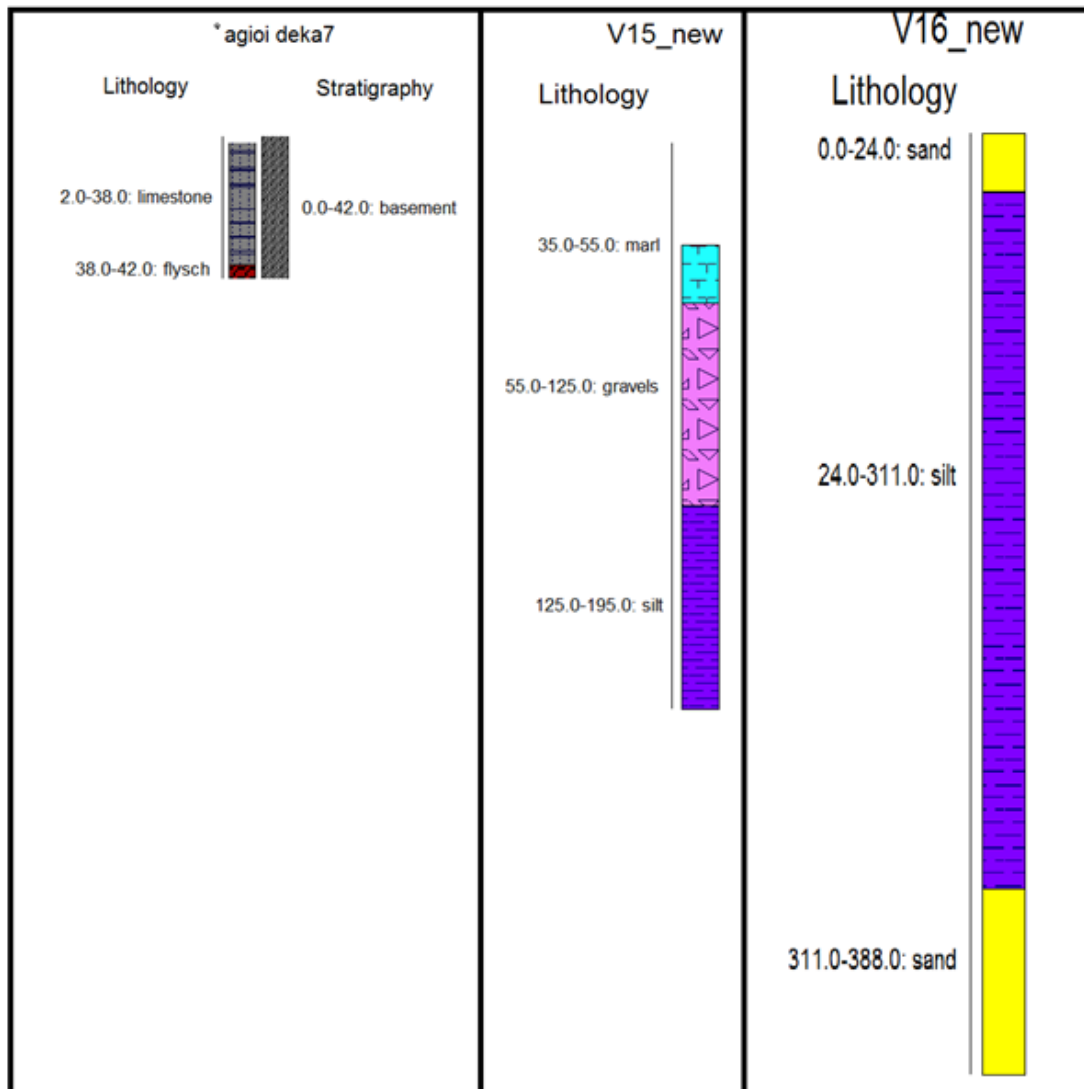


Εικόνα 6.6: Απεικόνιση γεώτρησης «agioi deka4» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.4.Γεώτρηση «agioi deka7»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.7 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V16new», «V40» και η «V8new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «agioi dakea7» : Easting: 588876 , Northing: 3882010, Elevation: 42
- «V16new» : Easting: 588166.7772, Northing: 3879764, Elevation: 188
- «V15new»: Easting: 586557.691, Northing: 3879682, Elevation: 155



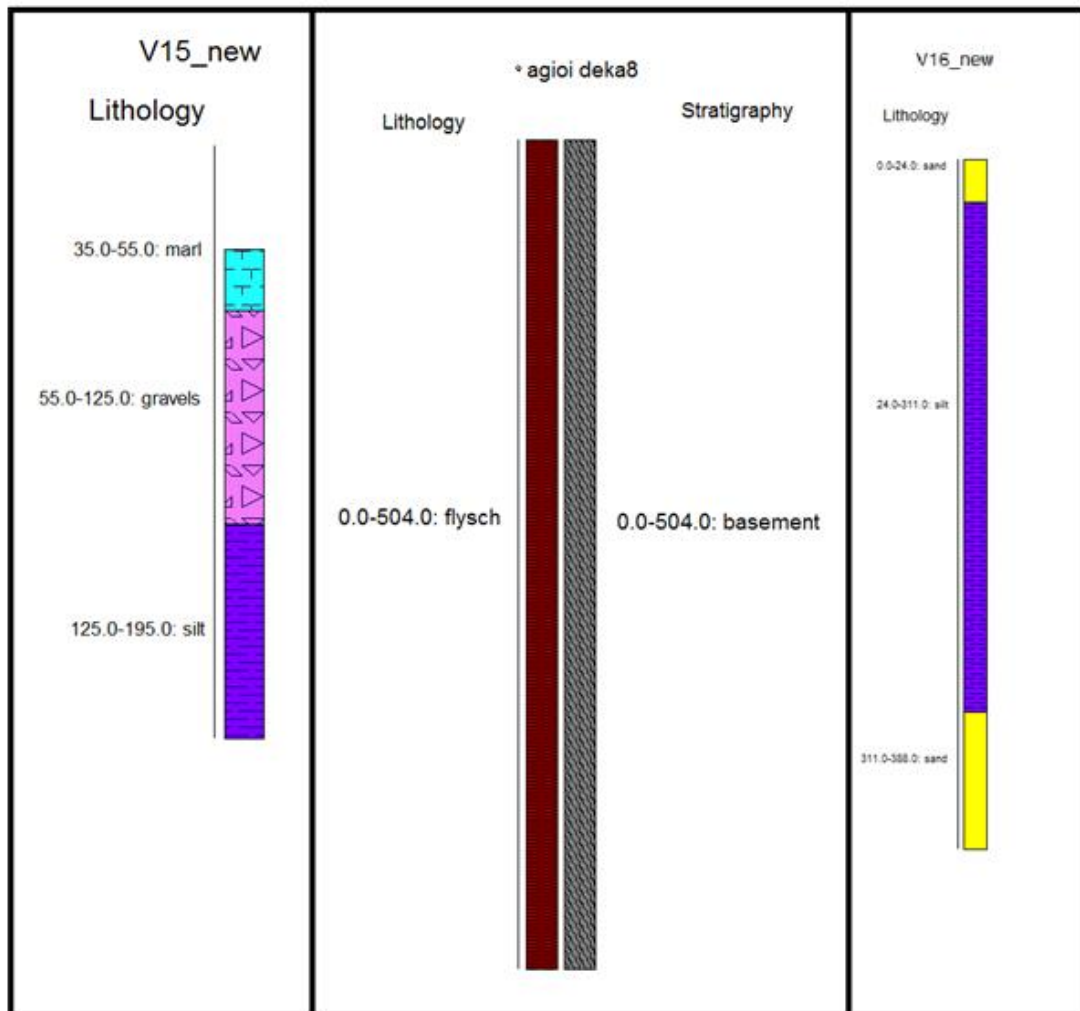
Εικόνα 6.7: Απεικόνιση γεώτρησης «agioi dakea7» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.5.Γεώτρηση «agioi dakea8»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.8 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V16new», «V40» και η «V8new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «agioi dakea7» : Easting: 587583, Northing: 3881249, Elevation: 117

- «V16new» : Easting: 588166.7772, Northing: 3879764, Elevation: 188
- «V15new»: Easting: 586557.691, Northing: 3879682, Elevation: 155



Εικόνα 6.8: Απεικόνιση γεώτρησης «agioi deka8» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

Όπως παρατηρείται για τις γεωτρήσεις «agioi deka7» και «agioi deka8» δεν υπάρχουν βυθοσκοπήσεις που να είναι κοντά τους σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής των βυθοσκοπήσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις και για τις δύο γεωτρήσεις είναι οι «V15new» «V16new». Επομένως, δεν είναι εφικτή η σύγκριση των γεωτρήσεων με τις βυθοσκοπήσεις. Στη συνέχεια, βλέποντας τις λιθοστρωματογραφικές ερμηνείες που δόθηκαν στις

γεωτρήσεις παρατηρείται ότι φτάνουν στη λιθοστρωματογραφική ενότητα του υποβάθρου κάτι που είναι πολύ σημαντικό.

#### **6.4.2.6.Γεώτρηση «ampelouzos1»**

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.9 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V33new» και η «V34new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «ampelouzos1» : Easting: 583968 , Northing: 3877572, Elevation: 94
- «V33new» : Easting: 584005.01, Northing: 3877519, Elevation: 105
- «V34new»: Easting: 584648.9536, Northing: 3877619, Elevation: 115

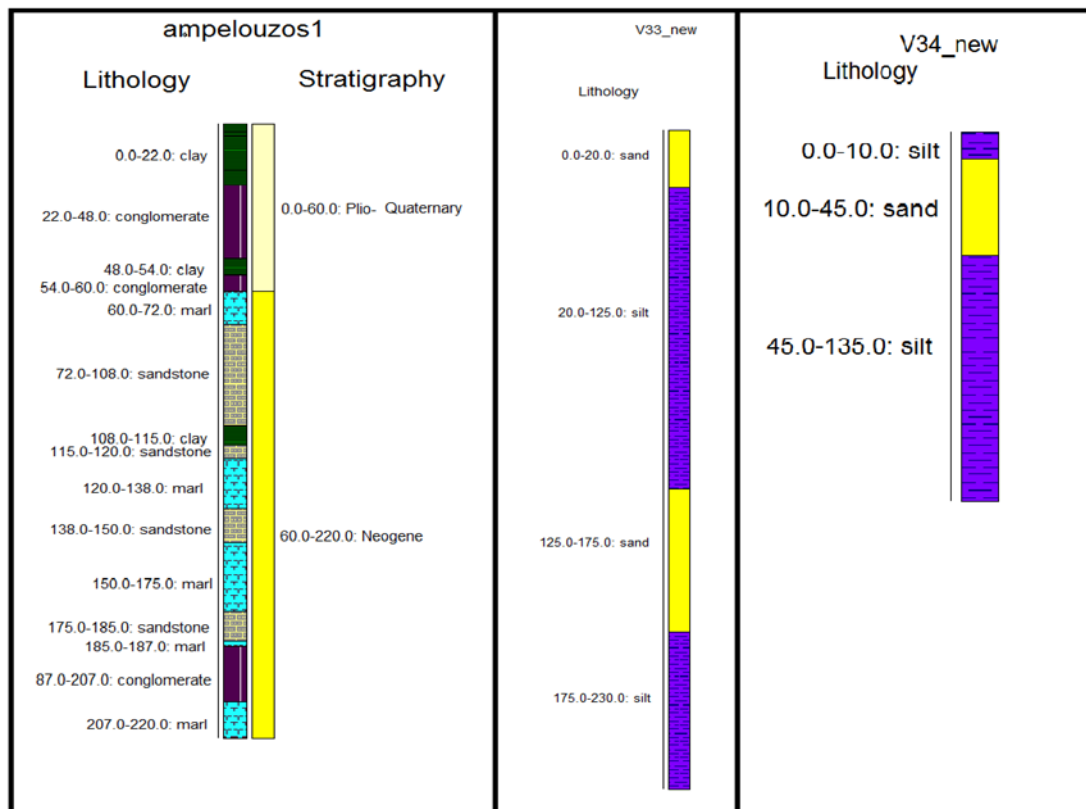
Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V33new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 65m νοτιοανατολικά και η «V34new» βρίσκεται 683m περίπου βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.9 παρατηρείται ότι:

- Στη γεώτρηση στα πρώτα 60m παρατηρούνται εναλλαγές αργίλων και κροκαλοπαγών και στη συνέχεια εμφανίσεις μάργας, κροκαλοπαγών και ψαμμιτών.
- Στη βυθοσκόπηση «V33new» αλλά και στη «V34new» παρατηρούνται εναλλαγές άμμου και ιλύς.

Επομένως, παρατηρείται πως η λιθολογική ερμηνεία που δόθηκε στις βυθοσκοπήσεις και τα λιθολογικά δεδομένα της γεώτρησης δεν παρουσιάζουν εμφανίσεις ίδιων λιθολογιών.

Οι βυθοσκοπήσεις βρίσκονται πολύ κοντά η μία από την άλλη με σειρά εμφάνισης ως προς το Easting.



Εικόνα 6.9: Απεικόνιση γεώτρησης «ampelouzos1» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.7.Γεώτρηση «ampelouzos3»

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.10 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V38», η «V2new» και η «V30new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

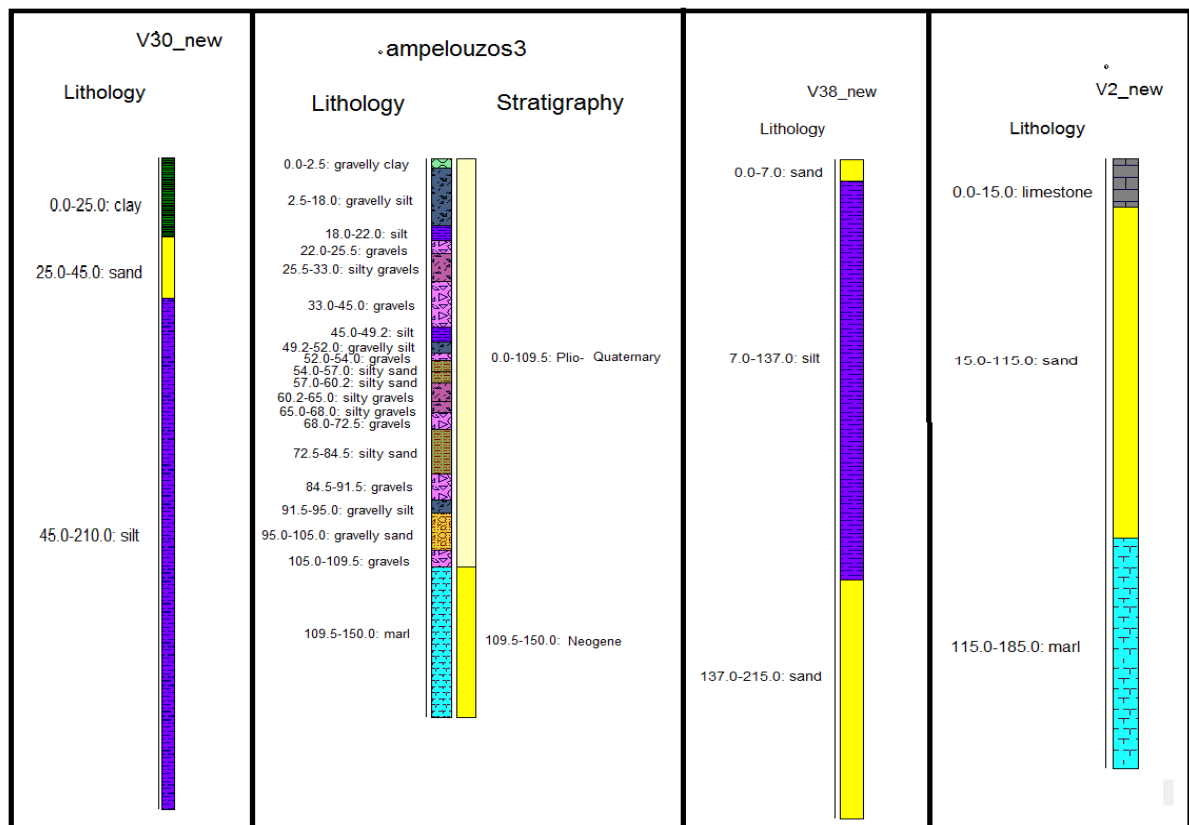
- «ampelouzos3» : Easting: 585765 , Northing: 3878698, Elevation: 131
- «V38» : Easting: 585841.4014 Northing: 3878499, Elevation: 135
- «V2new»: Easting: 585853.7158, Northing: 3878848 Elevation: 175
- «V30new»: Easting: 585217.47, Northing: 3879062, Elevation: 150

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V38» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 213m νοτιοανατολικά, η «V2new» περίπου 174m βορειοανατολικά και η «V30new» περίπου 657m βορειοδυτικά από τη γεώτρηση.



Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.10 παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση μάργας στα 109.5-150m της γεώτρησης αλλά και στα 115-185m της βυθοσκοπήσης «V2new».
- Εμφάνιση άμμου στα 25-45m της βυθοσκοπήσης «V30new» , 0-7m και 137-215m στη βυθοσκοπήση «V38new» και στα 15-115m της βυθοσκοπήσης «V2new».



Εικόνα 6.10: Απεικόνιση γεώτρησης «ampelouzos3» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.8.Γεώτρηση «apeswkari3»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.11 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V39», η «V26new», «V43new» και η «V25new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

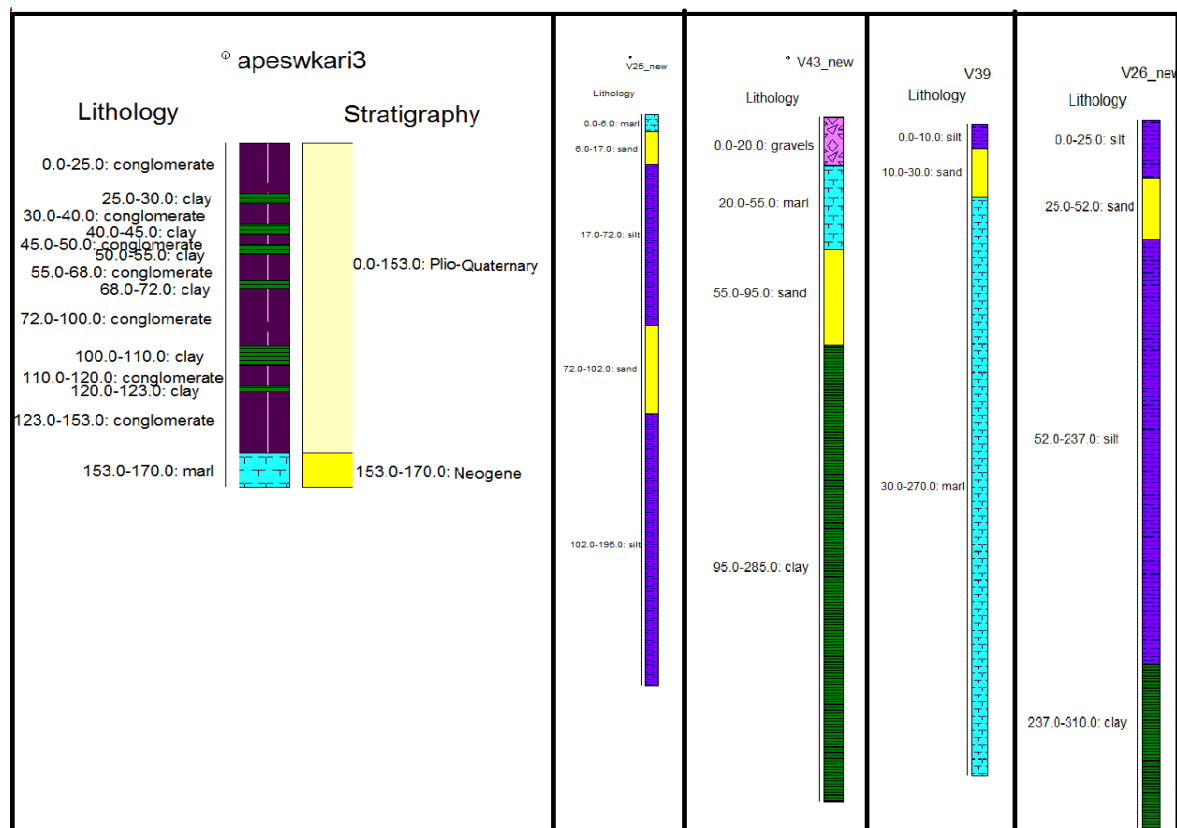
- «apeswkari3» : Easting: 586789 , Northing: 3876040, Elevation: 109

- «V39» : Easting: 586609.045, Northing: 3876135, Elevation: 105
- «V26new»: Easting: 586689.045, Northing: 3876800 Elevation: 115
- «V43new»: Easting: 586340.136, Northing: 387309.9, Elevation: 100
- «V25new»: Easting: 585855.7682, Northing: 3876498, Elevation: 105

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V39» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 204m βορειοδυτικά, η «V26new» περίπου 766m βορειοδυτικά, η «V43new» περίπου 357m νοτιοδυτικά και η «V25new» περίπου 1039m βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.11 παρατηρείται ότι:

- Εναλλαγές κροκαλοπαγών και άργιλου στα 0-153m της γεώτρησης.
- Εμφάνιση μάργας στα 153-170m της γεώτρησης, 0-6m της βυθοσκόπησης «V25new», 20-55m της βυθοσκόπησης «V43new», 30-270m της βυθοσκόπησης «V39».
- Εμφάνιση άμμου στα 6-17m και 72-102m της βυθοσκόπησης «V25new» , 55-95m της βυθοσκόπησης «V43new» , 10-30m της βυθοσκόπησης «V39» και 25-52m της βυθοσκόπησης «V26new».
- Εμφάνιση ιλύς στα 17-72m και 102-195m της βυθοσκόπησης «V25new» , 0-10m της βυθοσκόπησης «V39» και 0- 25m και 52-237m της βυθοσκόπησης «V26new».
- Εμφάνιση άργιλου στα 95-285m της βυθοσκόπησης «V45» και 237-310m της βυθοσκόπησης «V26new».



Εικόνα 6.11: Απεικόνιση γεώτρησης «apeswkari3» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.9.Γεώτρηση «mitropoli2»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.12 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V2new», η «V29new», η «V38», η «V1new» και η «V15new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «mitropoli2» : Easting: 585935 , Northing: 3878902, Elevation: 132
- «V2new» : Easting: 585853.7158, Northing: 3878848, Elevation: 175
- «V29new»: Easting: 586481.752, Northing: 3878779, Elevation: 140
- «V38»: Easting: 585841.4014, Northing: 3878499, Elevation: 135
- «V1new»: Easting: 585907.0784, Northing: 3879398, Elevation: 150
- «V15new»: Easting: 586557.691, Northing: 3879682, Elevation: 155

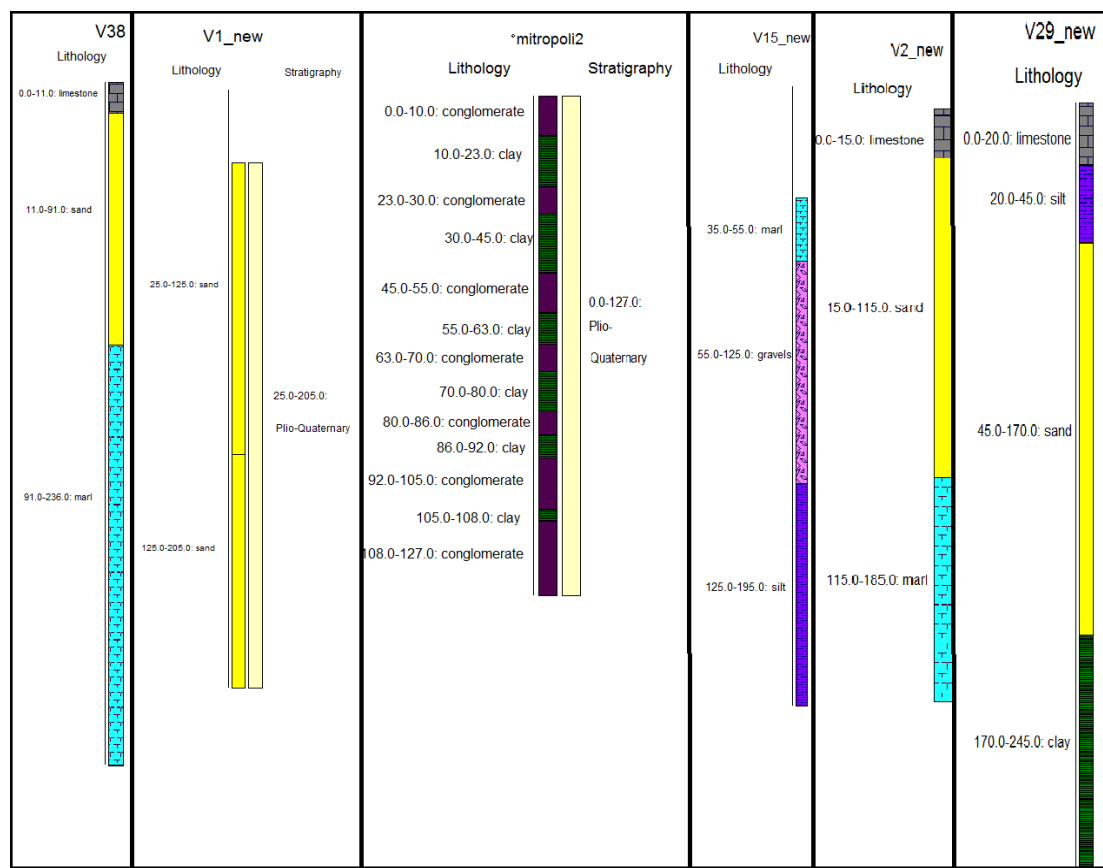
Παρατηρείται ότι τα υψόμετρα των βυθοσκοπήσεων και της γεώτρησης έχουν απόκλιση μεταξύ τους μέχρι και 43m κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V2new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 98m νοτιοδυτικά, η «V29new» περίπου 560m νοτιοανατολικά, η «V38» περίπου 414m νοτιοδυτικά, η «V1new» περίπου 497m βορειοδυτικά και η «V15new» περίπου 998m βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.12 παρατηρείται ότι:

- Εναλλαγές κροκαλοπαγών και άργιλου σε όλη την γεώτρηση.
- Εμφάνιση μάργας στα 35-55m της βυθοσκόπησης «V15new» , στα 91-235m της βυθοσκόπησης «V38» και στα 115-185m της βυθοσκόπησης «V2new».
- Εμφάνιση ασβεστόλιθου στα 0-11m της βυθοσκόπησης «V38», στα 0-15m της βυθοσκόπησης «V2new» και στα 0-20m της βυθοσκόπησης «V29new».
- Εμφάνιση άμμου στα 25-205m της βυθοσκόπησης «V1new», στα 11-91m της βυθοσκόπησης «V38», στα 15-115m της βυθοσκόπησης «V2new» και στα 45-170m της βυθοσκόπησης «V29new».

Οι εμφανίσεις μάργας, ασβεστόλιθου και άμμου στις βυθοσκοπήσεις μπορεί να θεωρηθεί και ως μια ομοιόμορφη εμφάνιση με το βάθος λαμβάνοντας υπόψη την μικρή απόκλιση υψομέτρου συγκριτικά των βυθοσκοπήσεων μεταξύ τους αλλά και των συντεταγμένων τους.



Εικόνα 6.12: Απεικόνιση γεώτρησης «mitropoli2» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.10.Γεώτρηση «mitropoli3»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.13. οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V2new», η «V29new», η «V38», η «V1new» και η «V15new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «mitropoli3» : Easting: 586054, Northing: 3878957, Elevation: 134
- «V2new» : Easting: 585853.7158, Northing: 3878848, Elevation: 175
- «V29new»: Easting: 586481.752, Northing: 3878779, Elevation: 140
- «V38»: Easting: 585841.4014, Northing: 3878499, Elevation: 135
- «V1new»: Easting: 585907.0784, Northing: 3879398, Elevation: 150
- «V15new»: Easting: 586557.691, Northing: 3879682, Elevation: 155

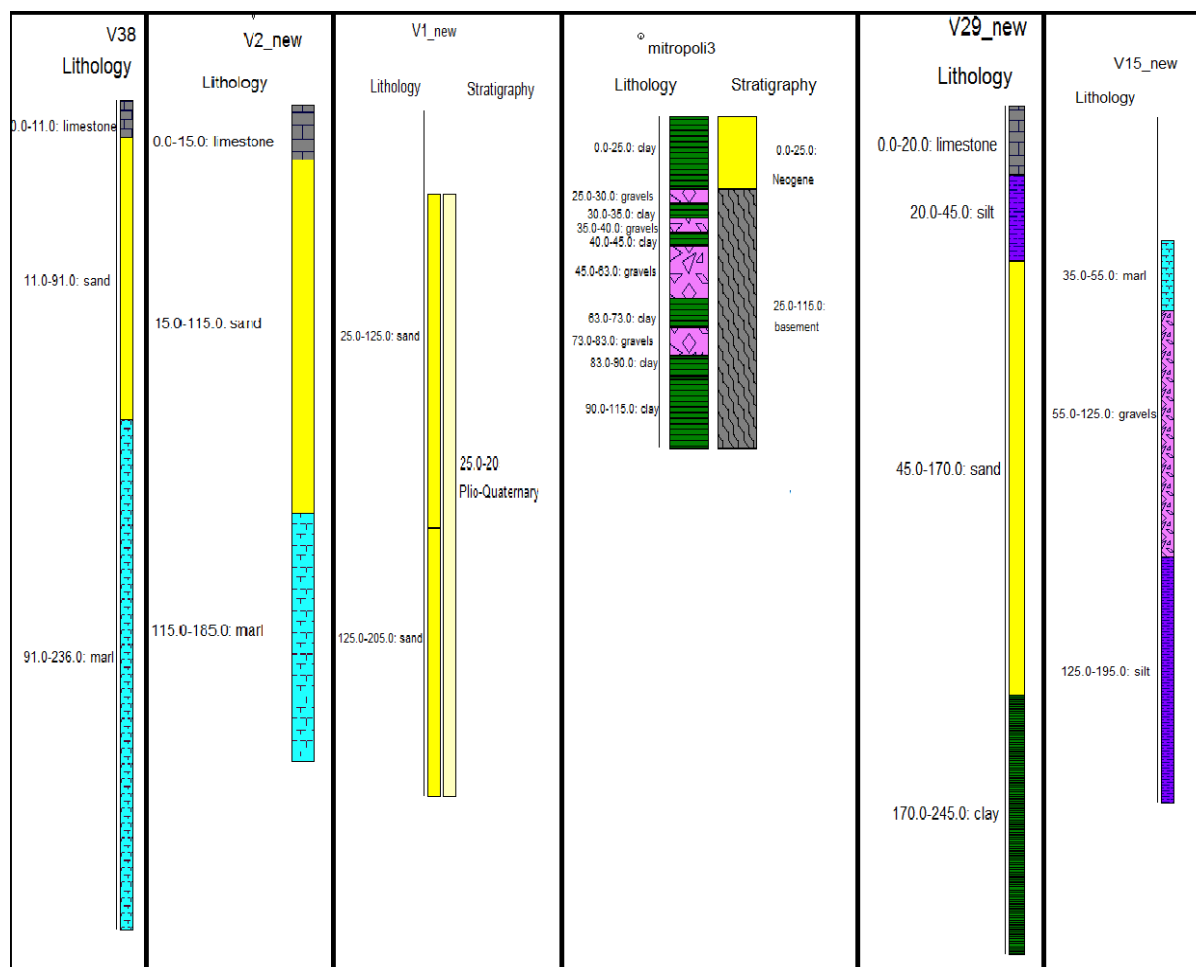
Παρατηρείται ότι τα υψόμετρα των βυθοσκοπήσεων και της γεώτρησης έχουν απόκλιση μεταξύ τους μέχρι και 41m κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V2new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 228m νοτιοδυτικά, η «V29new» περίπου 463m νοτιοανατολικά, η «V38» περίπου 305m νοτιοδυτικά, η «V1new» περίπου 465m βορειοδυτικά και η «V15new» περίπου 883m βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.13 παρατηρείται ότι:

- Εναλλαγές χαλικιών και αργίλου σε όλη την γεώτρηση.
- Εμφάνιση μάργας στα 35-55m της βυθοσκόπησης «V15new» , στα 91-235m της βυθοσκόπησης «V38» και στα 115-185m της βυθοσκόπησης «V2new».
- Εμφάνιση ασβεστόλιθου στα 0-11m της βυθοσκόπησης «V38», στα 0-15m της βυθοσκόπησης «V2new» και στα 0-20m της βυθοσκόπησης «V29new».
- Εμφάνιση άμμου στα 25-205m της βυθοσκόπησης «V1new», στα 11-91m της βυθοσκόπησης «V38», στα 15-115m της βυθοσκόπησης «V2new» και στα 45-170m της βυθοσκόπησης «V29new».
- Εμφάνιση αργίλου στα 170-245m της βυθοσκόπησης «V29new» και συνεχείς εμφανίσεις στη γεώτρηση με ένα τελευταίο στρώμα 25m.

Οι εμφανίσεις μάργας, ασβεστόλιθου και άμμου στις βυθοσκοπήσεις μπορεί να θεωρηθεί και ως μια ομοιόμορφη εμφάνιση με το βάθος λαμβάνοντας υπόψη την μικρή απόκλιση υψομέτρου συγκριτικά των βυθοσκοπήσεων μεταξύ τους αλλά και των συντεταγμένων τους.



Εικόνα 6.13: Απεικόνιση γεώτρησης «mitropoli3» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.11.Γεώτρηση «platanos3»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.14 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V38new» και η «V48new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

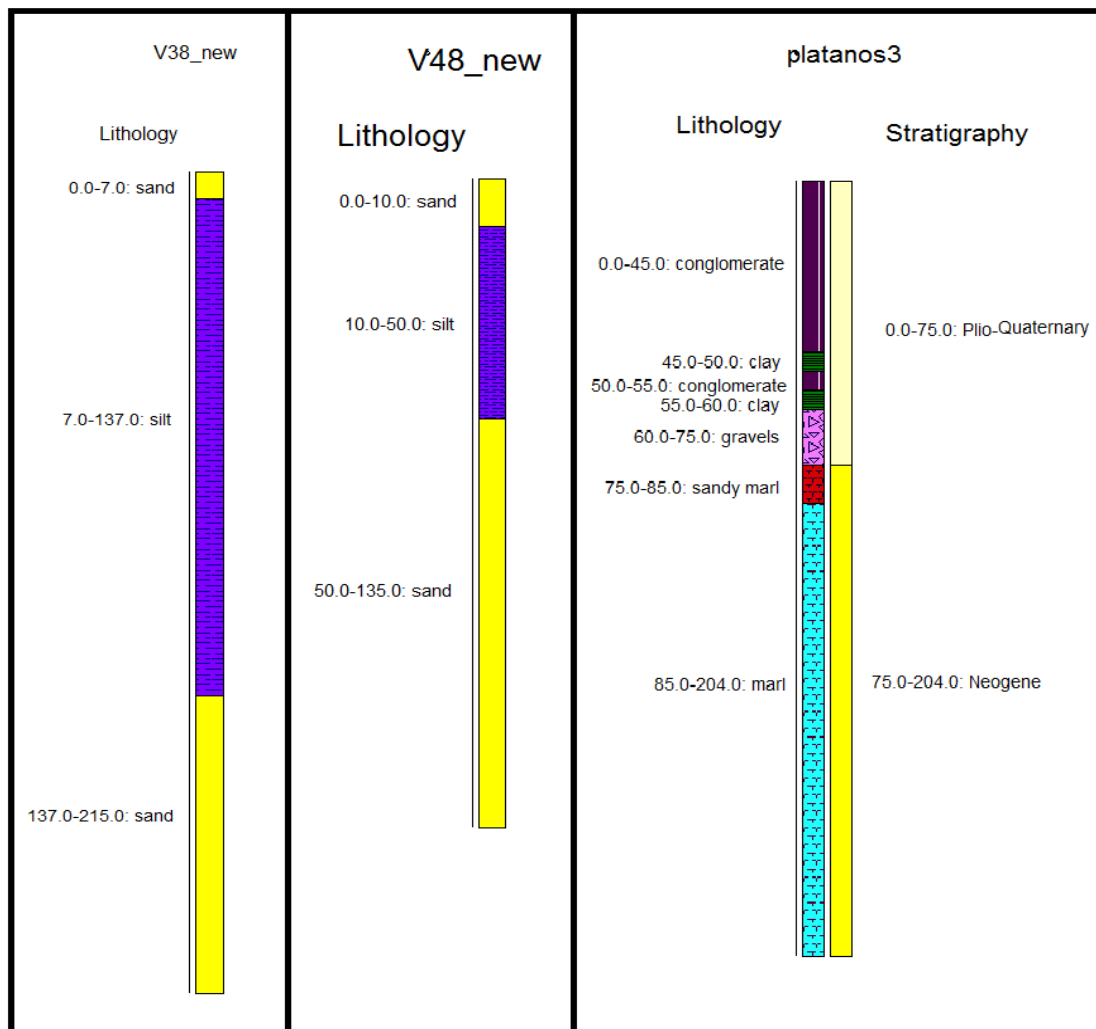
- «platanos3» : Easting: 583682, Northing: 3875294, Elevation: 85
- «V38new»: Easting: 583444.7044, Northing: 3875688, Elevation: 90
- «V48new»: Easting: 583621.2113, Northing: 3874711, Elevation: 120

Παρατηρείται ότι το υψόμετρο της βυθοσκόπησης και της γεώτρησης έχουν απόκλιση μεταξύ τους 35m, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκοπήση «V38new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 460m βορειοδυτικά και η «V48new» περίπου 586m νοτιοδυτικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.14 παρατηρείται ότι:

- Εναλλαγές άμμου και ιλύς και στις δύο βυθοσκοπήσεις.
- Εναλλαγές κροκαλοπαγών και αργίλου στη γεώτρηση.
- Εμφάνιση χαλικιών από τα 60-75m στη γεώτρηση.
- Εμφάνιση μάργας σε ένα μεγάλο βάθος στη γεώτρηση, από 85-204m.



Εικόνα 6.14: Απεικόνιση γεώτρησης «platanos3» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις



#### **6.4.2.12.Γεώτρηση «platanos4»**

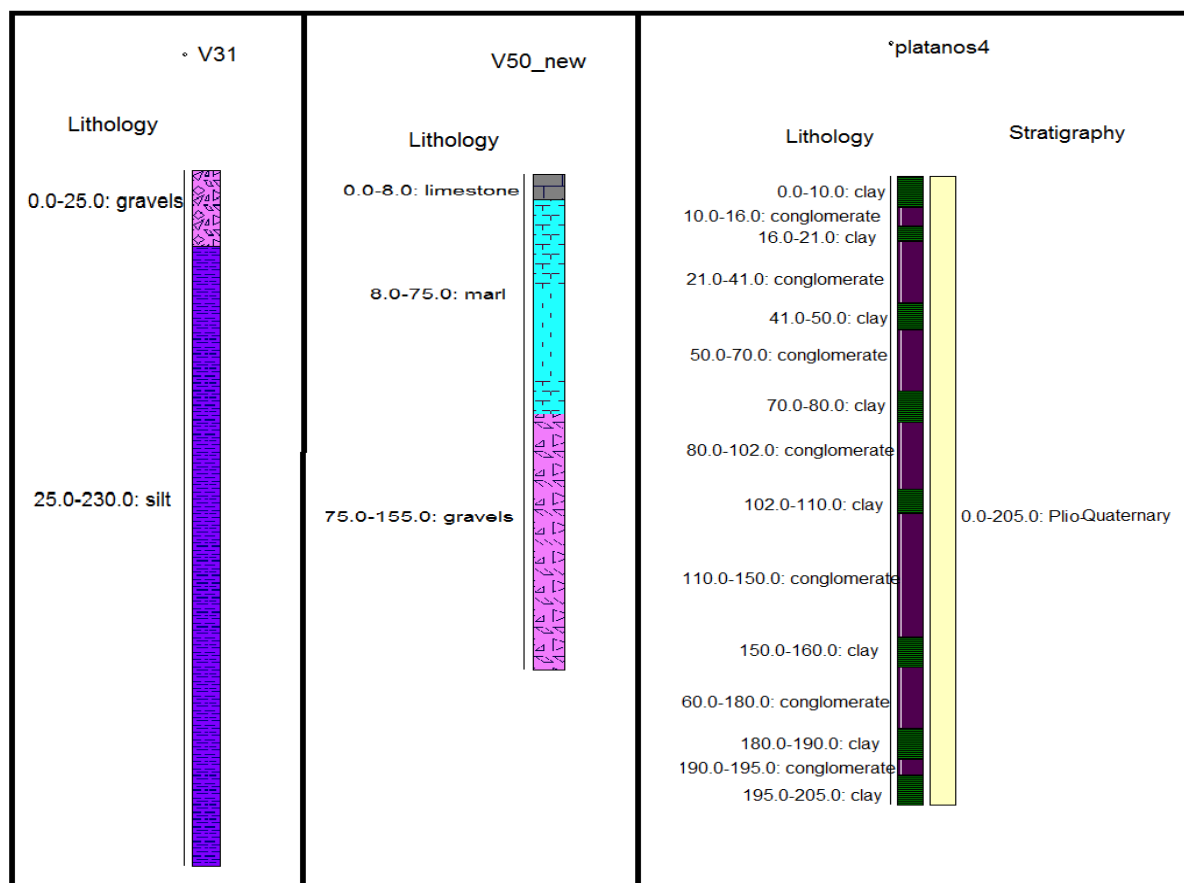
Όπως φαίνεται αι στην Εικόνα 6.15 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V31» και η «V50new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «platanos4» : Easting: 582735, Northing: 3876125, Elevation: 84
- «V31»: Easting: 582309.724, Northing: 3876302, Elevation: 75
- «V50new»: Easting: 582584.7464, Northing: 3875557, Elevation: 80

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V31» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 451m βορειοδυτικά και η «V50new» περίπου 585m νοτιοδυτικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.15 παρατηρείται ότι:

- Εναλλαγές κροκαλοπαγών και αργίλου σε όλη την γεώτρηση
- Εμφάνιση μάργας στα 0-25m στη βυθοσκόπηση «V31» και στα 75-155m στη βυθοσκόπηση «V50new».



Εικόνα 6.15: Απεικόνιση γεώτρησης «platanos4» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.13.Γεώτρηση «platanos5»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.16 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V36new» και η «V33new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

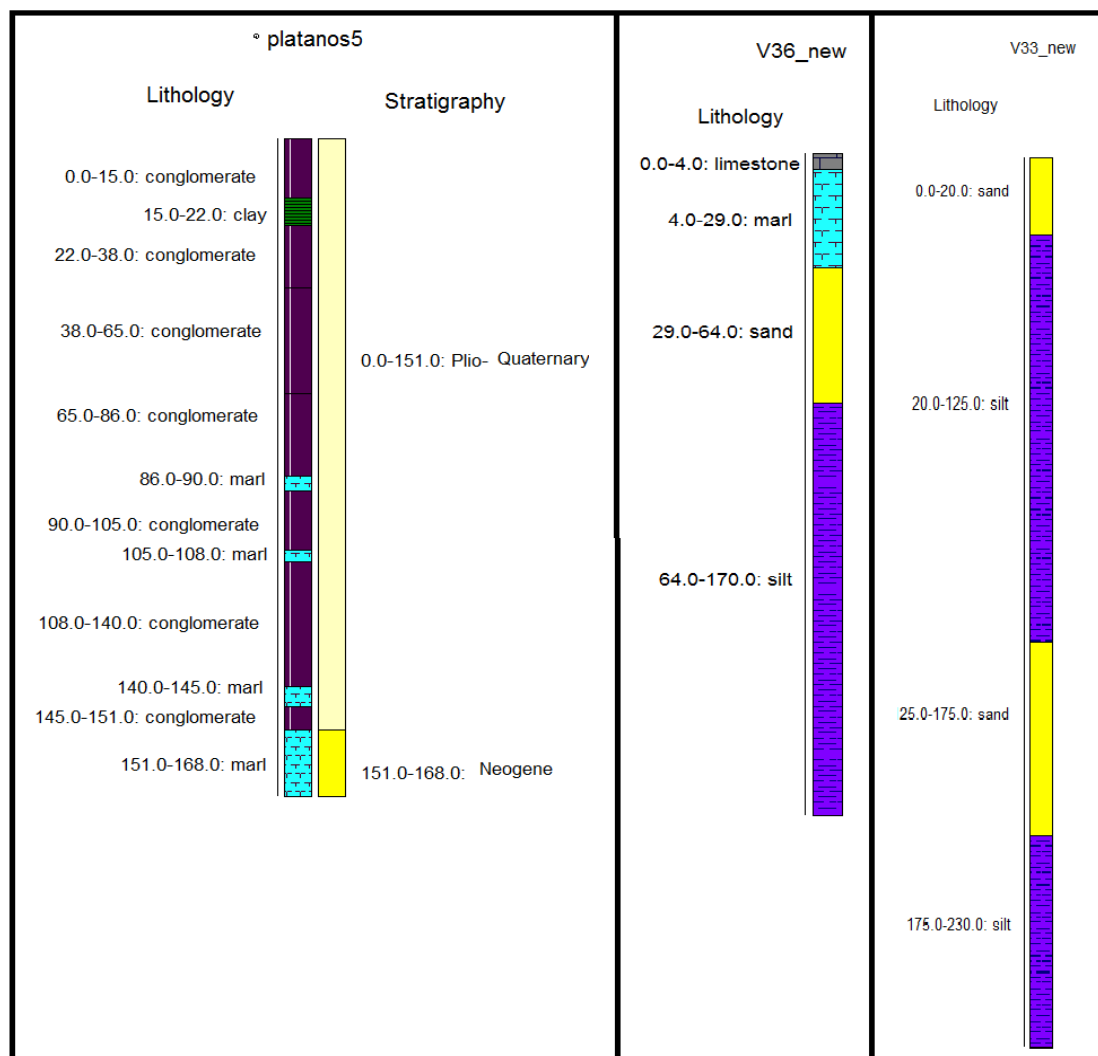
- «platanos5» : Easting: 583211, Northing: 3876813, Elevation: 84
- «V36new»: Easting: 583321.5601, Northing: 3876946, Elevation: 80
- «V33new»: Easting: 584005.01, Northing: 3877519, Elevation: 105

Παρατηρείται ότι το υψόμετρο της βυθοσκόπησης «V33new» και της γεώτρησης έχουν απόκλιση μεταξύ τους 21m, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V36new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 173m βορειοανατολικά και η «V33new» περίπου 1062m βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.16 παρατηρείται ότι:

- Εναλλαγές κροκαλοπαγών και μάργας σε όλη την γεώτρηση και μια εμφάνιση αργίλου πάχους 7m.
- Εμφάνιση μάργας στα τελευταία 17m της γεώτρησης , στα 4-29m της βυθοσκόπησης «V36new».
- Εμφάνιση άμμου στα 29-64m στις βυθοσκόπησης «V36new» και στα 0-20m και 125-175m της βυθοσκόπησης «V33new».
- Εμφάνιση ιλύς και στις δύο βυθοσκοπήσεις με μεγάλα πάχη.



Εικόνα 6.16: Απεικόνιση γεώτρησης «platanos5» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### **6.4.2.14.Γεώτρηση «plwra2»**

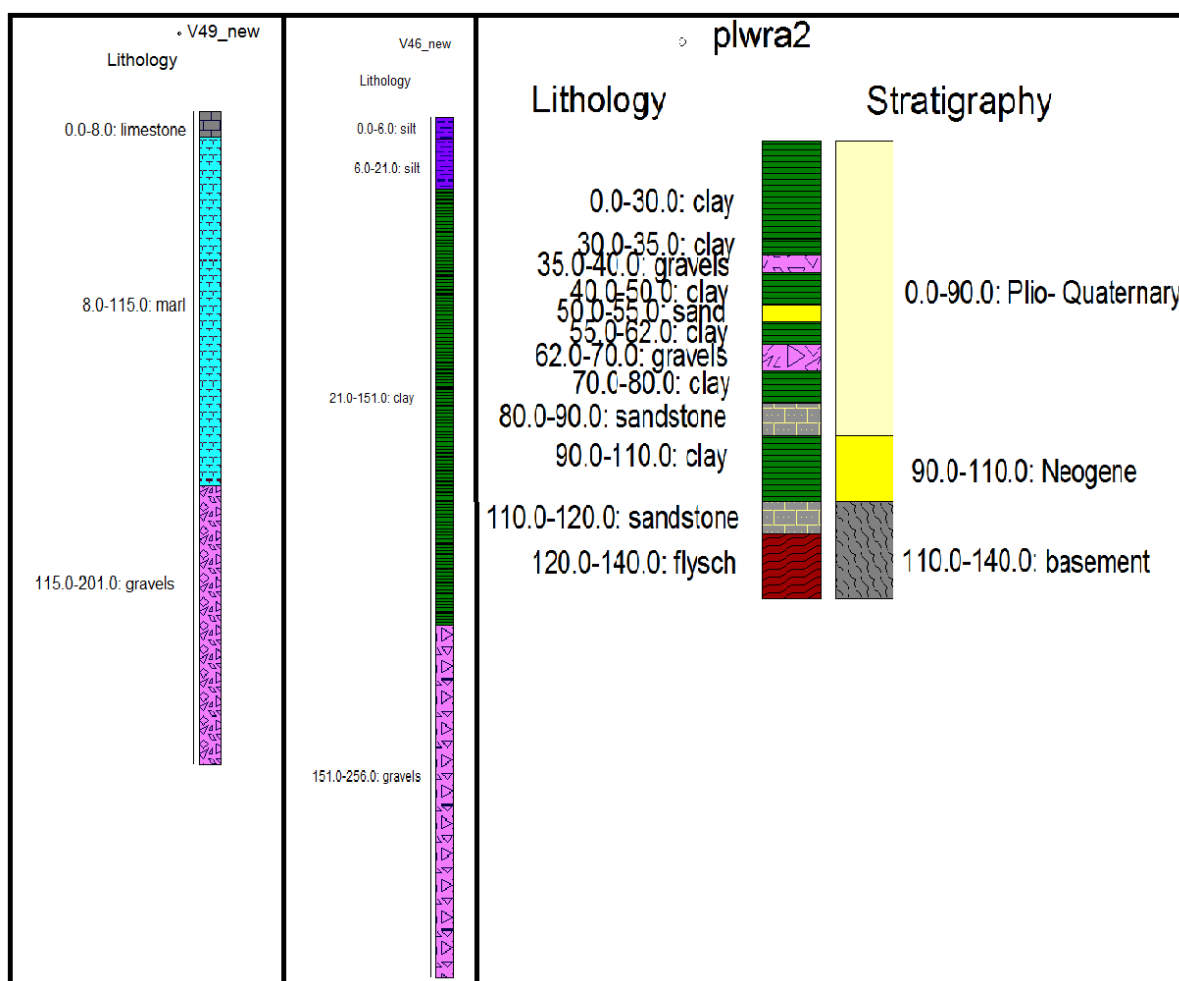
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.17 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V49new» και η «V46new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «plwra2» : Easting: 584822, Northing: 3874709, Elevation: 214
- «V49new»: Easting: 584405.2304, Northing: 3874477, Elevation: 145
- «V46new»: Easting: 584618.6806, Northing: 3875126, Elevation: 115

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V49new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 173m βορειοανατολικά και η «V46new» περίπου 1062m βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.17 παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση χαλκιών στα 115-210m της βυθοσκόπησης «V49new», στα 151-256m της βυθοσκόπησης «V46new» και στα 35-40m, 62-70m της γεώτρησης.
- Εμφάνιση αργίλου στα 21-151m της βυθοσκόπησης «V46new» και 0-35m, 55-62m, 70-80m, 90-110m της γεώτρησης.



Εικόνα 6.17: Απεικόνιση γεώτρησης «plwra2» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.15.Γεώτρηση «plwra4»

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.18 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V49new», η «V45new» και η «V46new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

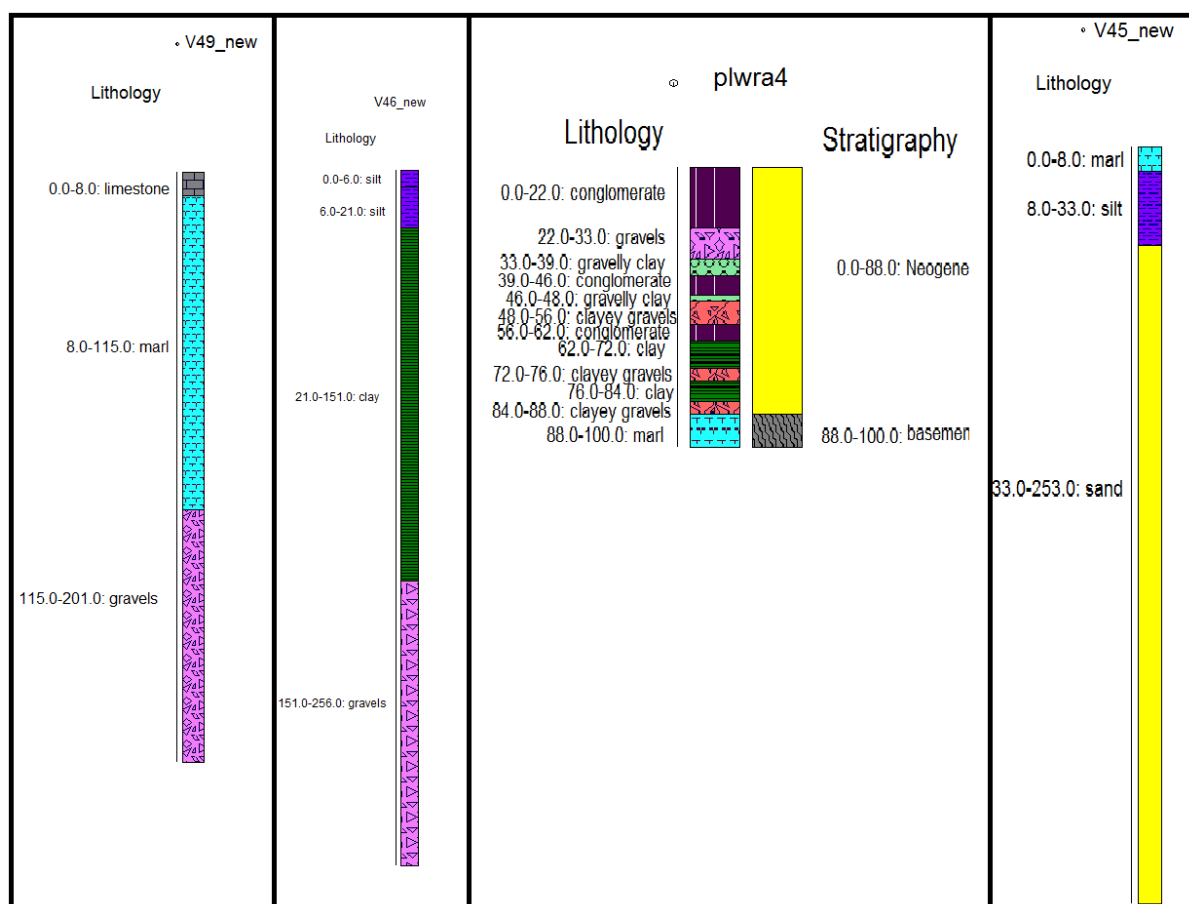
- «plwra4» : Easting: 584799, Northing: 3874589, Elevation: 205
- «V45new»: Easting: 585075.9, Northing: 3874368, Elevation: 140
- «V49new»: Easting: 584405.2304, Northing: 3874477, Elevation: 145
- «V46new»: Easting: 584618.6806, Northing: 3875126, Elevation: 115

Παρατηρείται ότι το υψόμετρο της γεώτρησης απέχει κατά πολύ από αυτά των βυθοσκοπήσεων με την μεγαλύτερη απόκλιση στα 90m. Κάτι που θα πρέπει στη συνέχεια να ληφθεί υπόψη.

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V45new» βρίσκεται περίπου 354m νοτιοανατολικά, η «V49new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 409m νοτιοδυτικά και η «V46new» περίπου 566m βορειοδυτικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.18 παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση μάργας στα 8-115m της βυθοσκόπησης «V49new», στα 80-100m της γεώτρησης και στα 0-8m της βυθοσκόπησης «V45new».
- Εμφάνιση κροκαλοπαγών, χαλικιών, χαλικώδης άργιλου, αργιλώδης χαλικιών και άργιλου στη γεώτρηση.
- Εμφάνιση χαλικιών στα 115-201m της βυθοσκόπησης «V49new» , στα 151-256m της βυθοσκόπησης «V46new» και στα 22-33m της γεώτρησης.



Εικόνα 6.18: Απεικόνιση γεώτρησης «plwra4» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.16.Γεώτρηση «xoustoulia1»

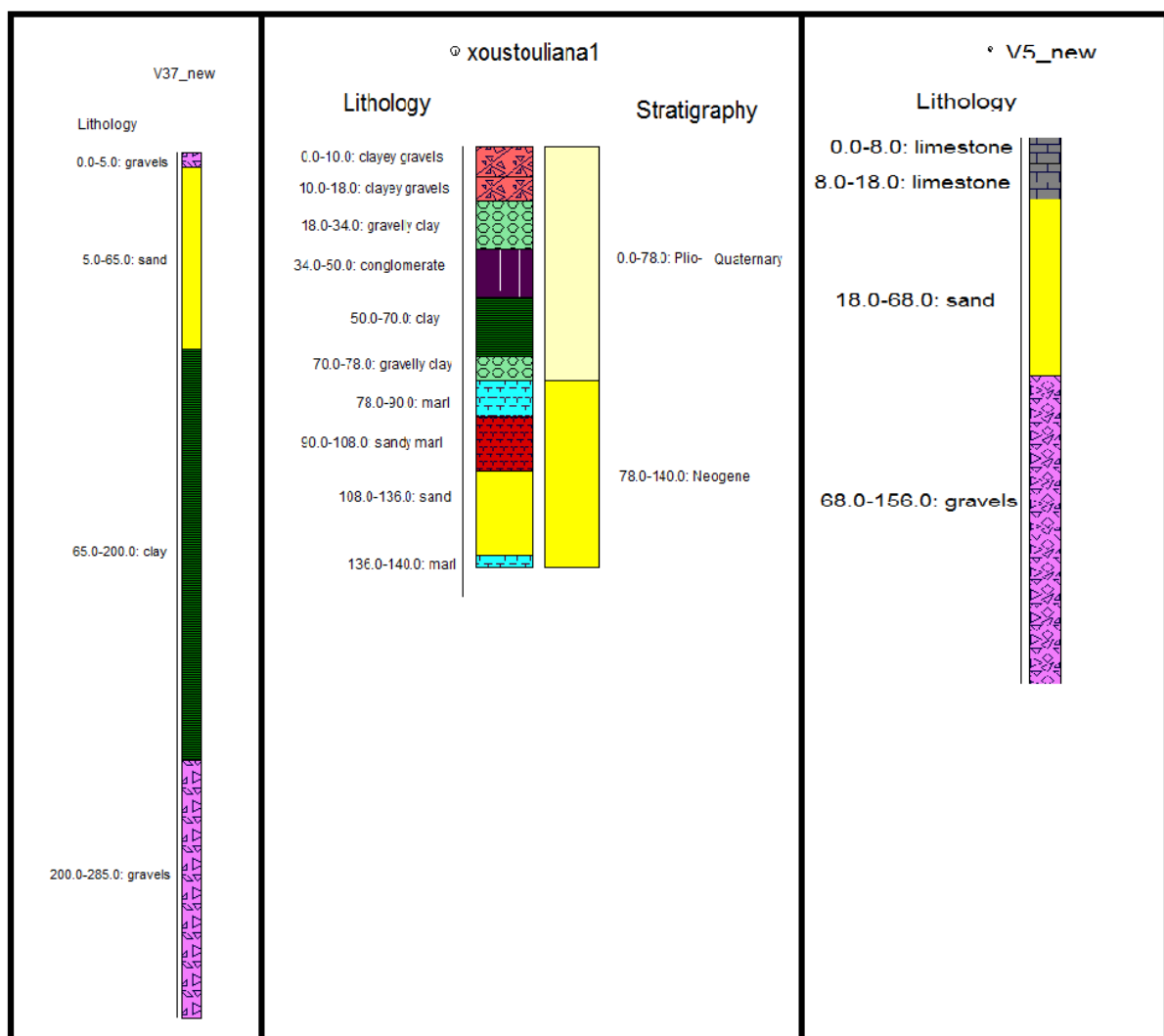
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.19 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V5new» και η «V37new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «xoustoulia1» : Easting: 584834, Northing: 3876408, Elevation: 85
- «V5new»: Easting: 585281.1, Northing: 3876024, Elevation: 103
- «V37new»: Easting: 584456.5, Northing: 3875899, Elevation: 95

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V5new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 589m νοτιοανατολικά και η «V37new» περίπου 634m νοτιοδυτικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.19 παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση χαλίκιων 0-5m στη βυθοσκόπηση «V37new» και στα 68-156m στη βυθοσκόπηση «V5new».
- Εμφάνιση άμμου στα 5-65m της βυθοσκόπησης «V37new», στα 108-136m της γεώτρησης και στα 18-68m της βυθοσκόπησης «V5new».
- Εμφάνιση άργιλου στα 65-200m της βυθοσκόπησης «V37new» και στα 50-70m της γεώτρησης.
- Εμφάνιση αργιλικών χαλίκιων, χαλικιώδης αργίλου, μάργας και αμμώδης μάργας στη γεώτρηση.



Εικόνα 6.19: Απεικόνιση γεώτρησης «xoustoulia1» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις



#### **6.4.2.17.Γεώτρηση «xoustoulia2»**

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 6.20 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V33new» και η «V34new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

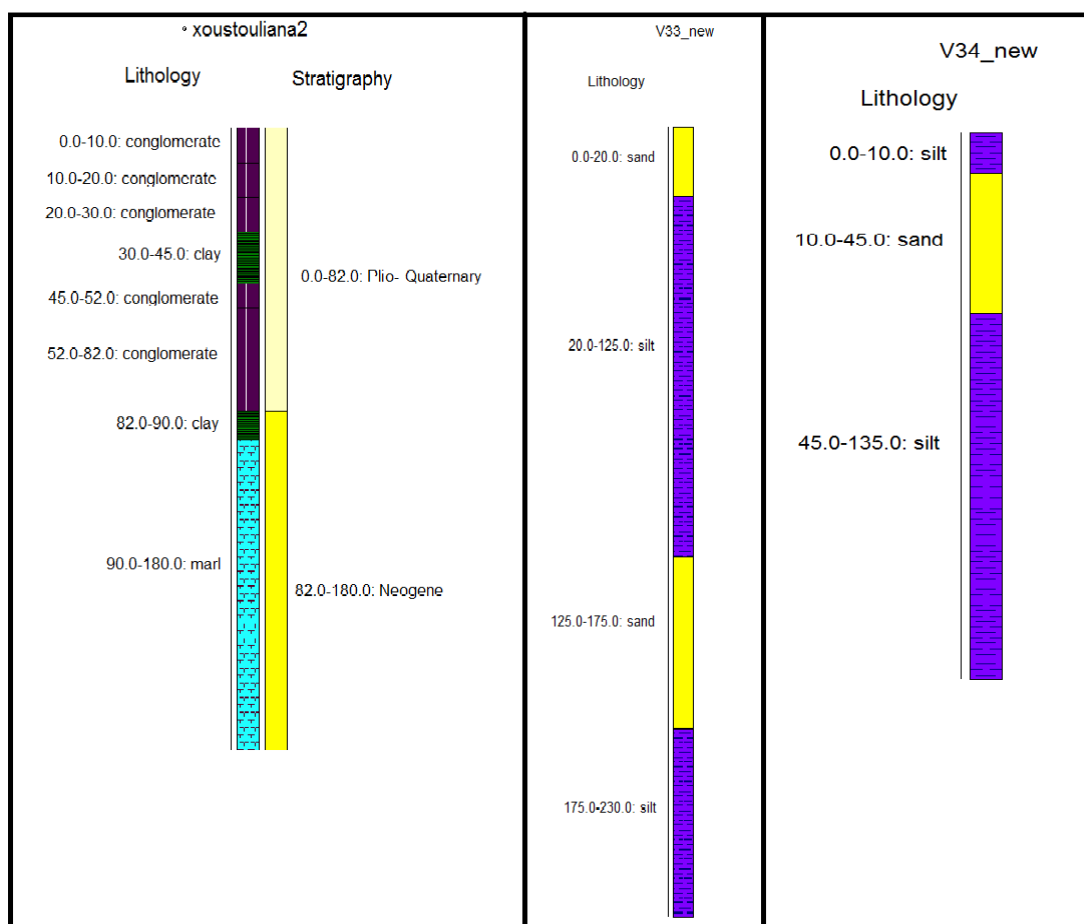
- «xoustoulia2» : Easting: 583933 , Northing: 3876989, Elevation: 83
- «V33new» : Easting: 584005.01, Northing: 3877519, Elevation: 105
- «V34new»: Easting: 584648.9536, Northing: 3877619, Elevation: 115

Το υψόμετρο της γεώτρησης παρουσιάζει απόκλιση 32m από το υψόμετρο της βυθοσκόπησης «V34new» και 22m από το υψόμετρο της βυθοσκόπησης «V33new». Κάτι που στη συνέχεια θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V33new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 535m βορειοανατολικά και η «V34new» βρίσκεται 954m περίπου βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.20 παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση χαλικιών 0-5m στη βυθοσκόπηση «V37new» και στα 68-156m στη βυθοσκόπηση «V5new».
- Εμφάνιση άμμου στα 5-65m της βυθοσκόπησης «V37new», στα 108-136m της γεώτρησης και στα 18-68m της βυθοσκόπησης «V5new».
- Εναλλαγή κροκαλοπαγών με άργιλο στη γεώτρηση.
- Εμφάνιση μάργας πάχους 90m στο τέλος της γεώτρησης.



Εικόνα 6.20: Απεικόνιση γεώτρησης «xoustoulia2» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.18.Γεώτρηση «xoustoulia4»

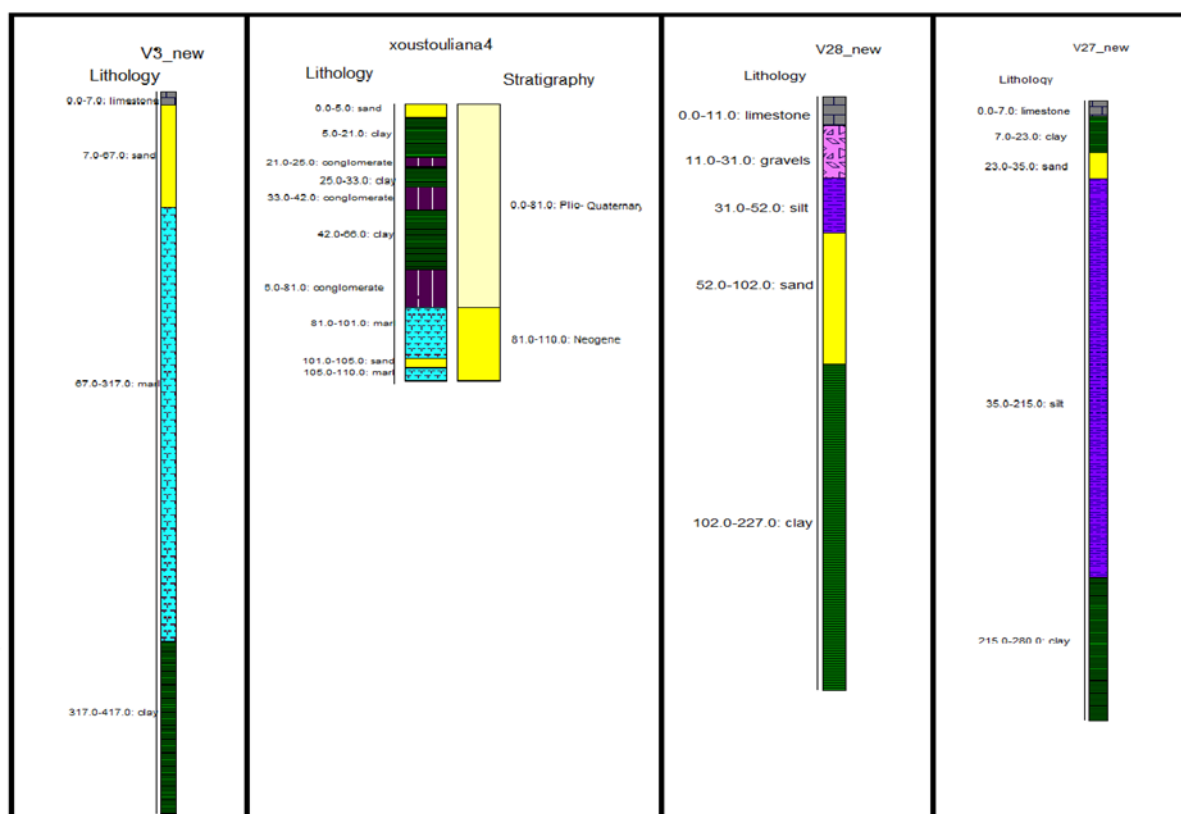
Όπως φαίνεται από την Εικόνα 6.21 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V28new», η «V27new» και η «V3new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και των βυθοσκοπήσεων είναι οι παρακάτω:

- «xoustoulia4» : Easting: 586301, Northing: 3877726, Elevation: 110
- «V28new»: Easting: 586580.3, Northing: 3878062, Elevation: 125
- «V27new»: Easting: 586804, Northing: 3877529, Elevation: 120
- «V3new»: Easting: 585771.6, Northing: 3877890, Elevation: 125

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V28new» βρίσκεται περίπου 437m βορειοανατολικά, η «V27new» βρίσκεται σε απόσταση περίπου 540m νοτιοανατολικά και η «V3new» περίπου 554m βορειοδυτικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω και βλέποντας την Εικόνα 6.21 παρατηρείται ότι:

- Στα πρώτα μέτρα των βυθοσκοπήσεων εμφανίζεται ασβεστόλιθος με πάχος περίπου 10m.
- Όπως στη γεώτρηση τόσο και στις βυθοσκοπήσεις παρουσιάζεται άμμος η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως συνέχεια από τη βυθοσκόπηση «V3new» στη γεώτρηση και στη συνέχεια στις βυθοσκοπήσεις «V28new» και «V27new».
- Εμφάνιση μεγάλου πάχους μάργας στη βυθοσκόπηση «V3new» η οποία πιθανώς να προεκτείνεται στη γεώτρηση.
- Εμφάνιση ιλύς στη βυθοσκόπηση «V28new» από βάθος 31m ως 52m και στη βυθοσκόπηση «V27new» από το βάθος 38m μέχρι τα 218m.
- Στη γεώτρηση μετά από την εμφάνιση άμμου παρουσιάζονται εναλλαγές κροκαλοπαγών και αργίλου.
- Στα τελευταία περίπου 80m ως 100m κάθε βυθοσκόπησης εμφανίζεται άργιλος μεγάλου πάχους της οποίας πιθανώς να είναι προέκταση της ίδιας οι εμφανίσεις αυτές.



Εικόνα 6.21: Απεικόνιση γεώτρησης «xoustoulia4» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

#### 6.4.2.19.Γεώτρηση «xoustoulia6»

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 6.22 οι κοντινότερες βυθοσκοπήσεις ως προς την συγκεκριμένη γεώτρηση είναι η «V4new». Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο της γεώτρησης και της βυθοσκόπησης είναι οι παρακάτω:

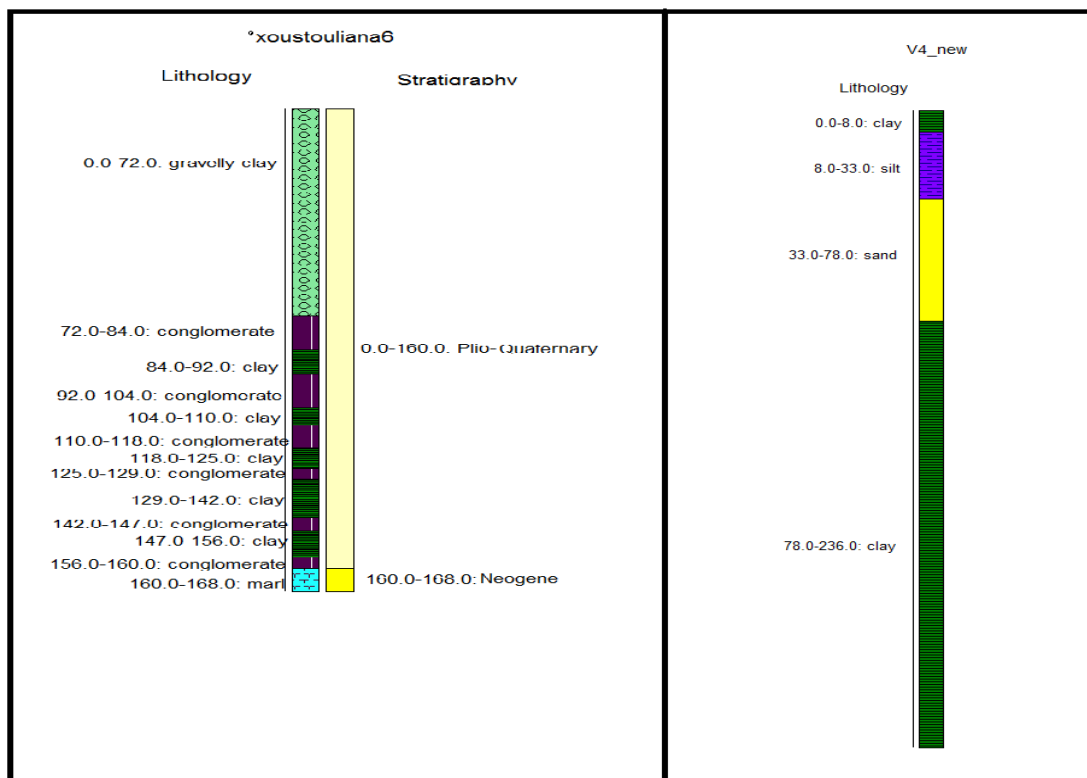
- «xoustoulia6» : Easting: 585468, Northing: 3877421, Elevation: 110
- «V4new»: Easting: 585609.5, Northing: 3877213, Elevation: 125

Έτσι, με βάση τον τύπο 6.1 η βυθοσκόπηση «V4new» βρίσκεται περίπου 252m βορειοανατολικά από τη γεώτρηση.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω παρατηρείται ότι:

- Εμφάνιση στρώματος 72m χαλικώδης άργιλου στη γεώτρηση και στη συνέχεια εναλλαγές κροκαλοπαγών και άργιλου.
- Στο τέλος εμφάνιση μάργα πάχους 8m.

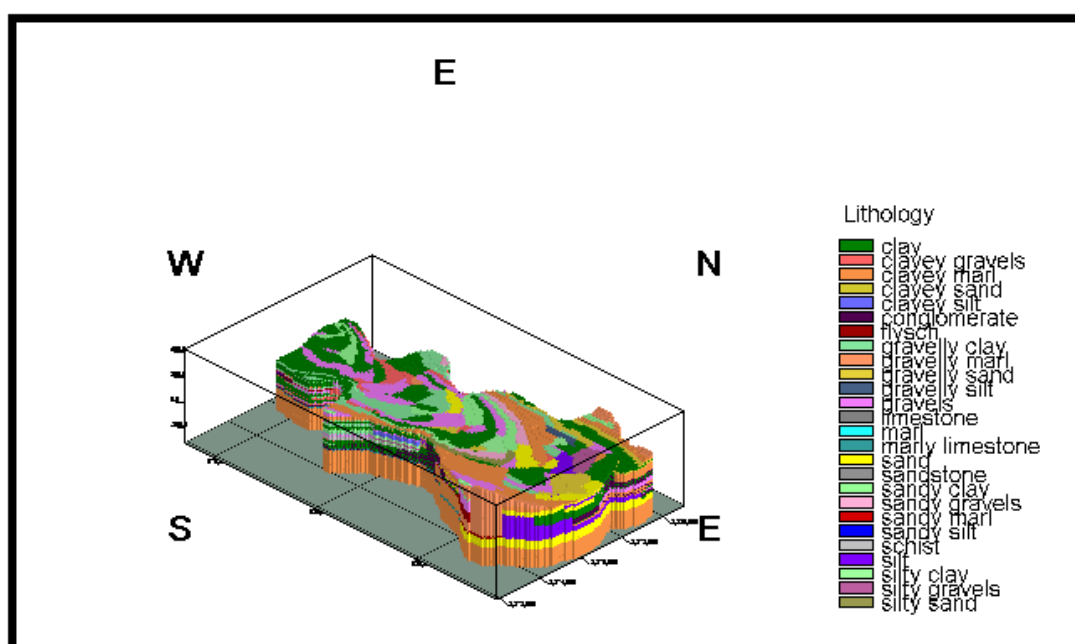
- Στη βυθοσκόπηση εμφανίζεται άργιλος η οποία πιθανότητα να είναι προέκταση κάποιας από τις εμφανίσεις αργίλου στην γεώτρηση.



Εικόνα 6.22: Απεικόνιση γεώτρησης «xoustouliana6» με τις πλησιέστερες βυθοσκοπήσεις

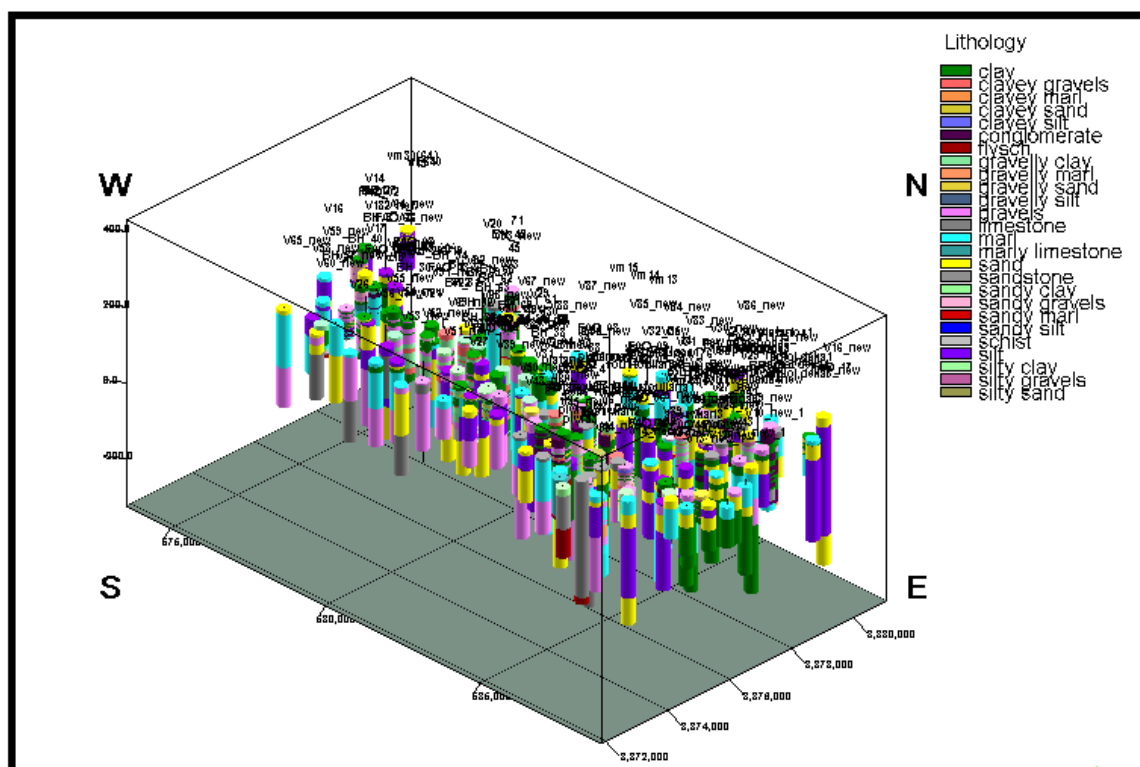
### 6.5. Τρισδιάστατο Λιθολογικό Μοντέλο

Σκοπός του μοντέλου αυτού είναι η τρισδιάστατη απεικόνιση της λιθολογίας τόσο της ευρύτερης περιοχής μελέτης όσο και της περιοχής μελέτης κύριου ενδιαφέροντος. Δεν είναι τίποτα άλλο από την απεικόνιση των λιθολογικών ερμηνειών που δόθηκαν στις βυθοσκοπήσεις και των λιθολογικών χαρακτηρισμών στις γεωτρήσεις. Με άλλα λόγια, βάση των δεδομένων που έχει το λογισμικό παρουσιάζει την τρισδιάστατη κατανομή των λιθολογιών στην περιοχή (Εικόνα 6.23). Όπως παρατηρείται στην παρακάτω εικόνα αρκετά συχνή είναι η εμφάνιση της αργίλου όπως και των υπόλοιπων αργιλικών πετρωμάτων.



Εικόνα 6.23: Τρισδιάστατο λιθολογικό μοντέλο περιοχής ενδιαφέροντος (vertical exaggeration x5)

Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα παρουσίασης των λιθολογικών χαρακτηρισμών και ερμηνειών των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων αντίστοιχα (Εικόνα 6.24). Η παρουσίαση αυτή γίνεται συναρτήσει του βάθους. Όπως παρατηρείται, όσο προχωράνε οι γεωτρήσεις και οι βυθοσκοπήσεις συναρτήσει του βάθους εμφανίζονται μάργες, χαλίκια και ιλύς. Επίσης, πολύ συχνές είναι και οι εναλλαγές αργίλου με άλλα πετρώματα.



Εικόνα 6.24: Λιθολογικοί χαρακτηρισμοί και ερμηνείες των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων

## 6.6. Στρωματογραφία Δεδομένων

Εδώ σκοπός είναι η ταξινόμηση των λιθολογικών σχηματισμών σε ευρύτερες λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Έτσι, διακρίνονται τα παρακάτω (Meulenkaamp et al., 1979) :

- η υδροπερατή ενότητα των Πλειο-Τεταρτογενών αποθέσεων (~ 3 εκατ. χρόνια - Σήμερα)
- η αδιαπέρατη ενότητα των Νεογενών αποθέσεων (~ 13 - 3 εκατ. χρόνια)

Να σημειωθεί ότι, κάτω από αυτές τις ενότητες έχουμε τον σχηματισμό του υποβάθρου που είναι είτε φλύσχος είτε ασβεστόλιθος.

Η συγκεκριμένη ομαδοποίηση έγινε με βάση την παρακάτω παραδοχή:

- οι εμφανίσεις μάργας με πάχος μεγαλύτερο της τάξεως των 10 μέτρων και σε σχετικά μεγάλο βάθος
- και οι εμφανίσεις των αργίλων σε σχετικά μεγάλο πάχος (20 μέτρων)

Τότε θα θεωρούνται αποθέσεις του Νεογενούς.

Επίσης ισχύει η παρακάτω σειρά σχηματισμών στις στρωματογραφικές ενότητες:

- Τεταρτογενείς
- Νεογενείς
- Υπόβαθρο

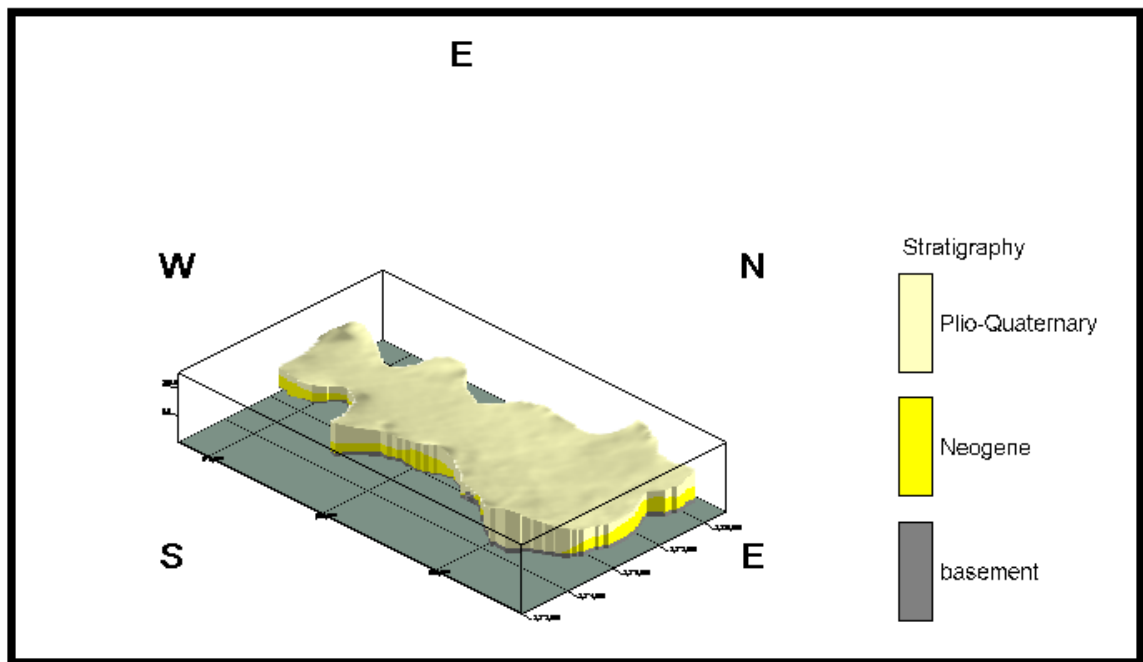
### **6.6.1 Τρισδιάστατο Λιθοστρωματογραφικό μοντέλο**

Η κατασκευή τρισδιάστατου λιθοστρωματικού μοντέλου αποτελεί στην ουσία την απεικόνιση των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων της περιοχής. Οι οποίες είναι το Πλειο-Τεταρτογενές, του Νεογενές και της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου. Για την απεικόνιση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι στρωματογραφικές ερμηνείες που δόθηκαν τόσο στις γεωτρήσεις όσο και στις βυθοσκοπήσεις. Ως αποτέλεσμα αυτού του τρισδιάστατου μοντέλου είναι η απεικόνιση της μεταβολής των λιθοστρωματογραφικών μοντέλων της περιοχής.

Κατά τη κατασκευή του λιθοστρωματογραφικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η εντολή Stratigraphy / Model. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν δύο μαθηματικές μέθοδοι, η μέθοδος της τριγωνποίησης και η μέθοδος των τετραγωνικά σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων με σκοπό την επιλογή της μεθόδου η οποία θα απεικονίζει καλύτερα το λιθοστρωματογραφικό μοντέλο. Στη παρούσα διπλωματική εργασία η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι αυτή των τετραγωνικά σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (Inverse Distance), η οποία φαίνεται ότι προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα και αποδίδει καλύτερα το μοντέλο.

Επιπλέον, κατασκευάστηκε ένα λιθοστρωματογραφικό μοντέλο για την περιοχή κύριου ενδιαφέροντος (Εικόνα 6.25), όπου, δεξιά να παρουσιάζεται η λεζάντα με της λιθοστρωματογραφικές ενότητες, όπου για την κατασκευή του έχει χρησιμοποιηθεί ένα πολύγωνο το οποίο κατασκευάστηκε για να περικλείει τις γεωτρήσεις και τις βυθοσκοπήσεις της περιοχής κύριου ενδιαφέροντος. Έτσι παρατηρώντας το μοντέλο αυτό παρατηρείται ότι νοτιοανατολικά του μοντέλου αυτού το πάχος της ενότητας του Πλειο-Τεταρτογενούς είναι αυξημένο ως προς το υπόλοιπο τμήμα το οποίο είναι ορατό.





Εικόνα 6.25: Τρισδιάστατο λιθοστρωματογραφικό μοντέλο περιοχής μελέτης κύριου ενδιαφέροντος (vertical exaggeration x5)

## 6.7. Κατασκευή ισοβαθών και ισοπαχών χαρτών

### 6.7.1. Κατασκευή Ισοβαθών

Στο λογισμικό Rock Works17 η εντολή Stratigraphy παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής χαρτών ισοβαθών (Stratigraphy / Structural Elevations / 2-Dimensionals). Αυτό σημαίνει ότι, παρέχεται η δυνατότητα χρωματικής απεικόνισης της κάθε επιφάνειας σε απόλυτο υψόμετρο.

*Οι χάρτες αυτοί είναι σημαντικό να κατασκευάζονται διότι οποιαδήποτε απότομη αλλαγή του απόλυτου υψομέτρου είναι δυνατό να προσφέρει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τον ορισμό ενός ρήγματος που δεν μπορεί να παρατηρηθεί στη επιφάνεια. (Panagoroulos et al, 2013)*

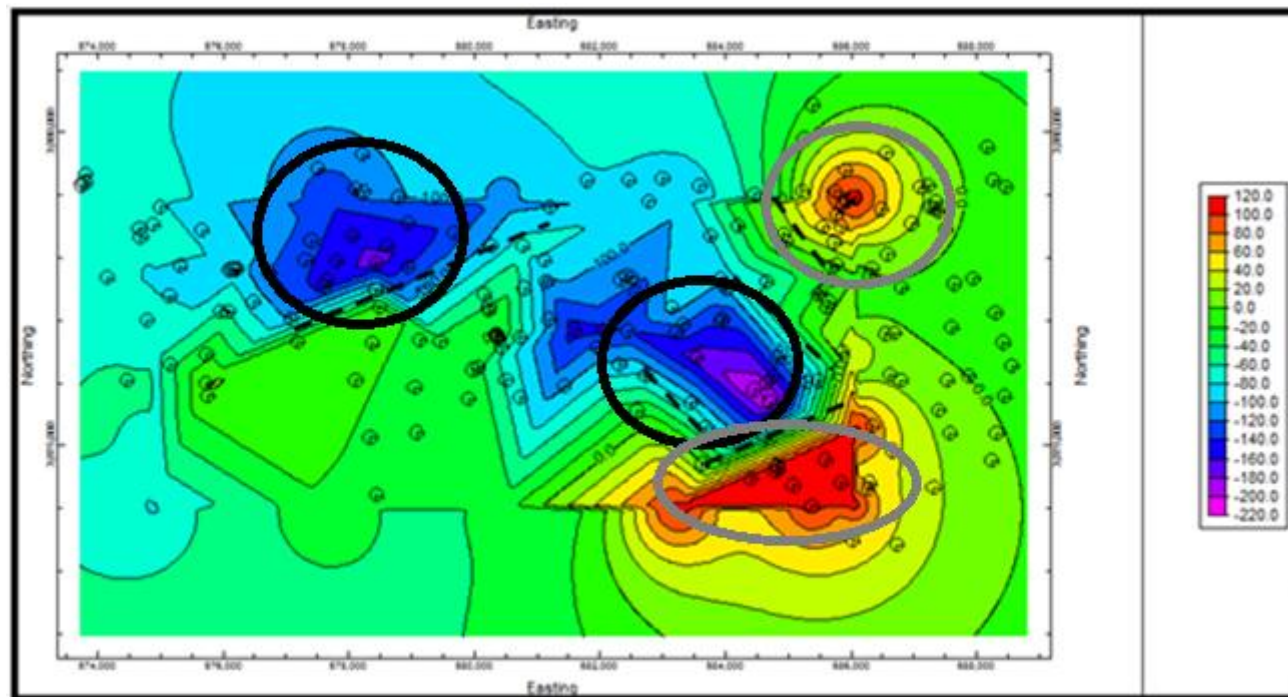
Στη συνέχεια παρατίθενται οι χάρτες ισοβαθών για την επιφάνεια του Υποβάθρου και του Νεογενούς, Εικόνα 6.26 και Εικόνα 6.27 αντίστοιχα, με τις γεωτρήσεις και τις βυθοσκοπήσεις που χρησιμοποιήθηκαν να είναι κατανεμημένες σε αυτούς. Τέλος, στα δεξιά κάθε εικόνας βρίσκεται η χρωματική κλίμακα του κάθε χάρτη όπου, η χρωματική

κλίμακα του χάρτη ισοβαθούς για την ενότητα του Υποβάθρου να κυμαίνεται από -220 ως +120 ενώ του χάρτη ισοβαθούς για την ενότητα του Νεογενούς να κυμαίνεται από -200 ως +120.

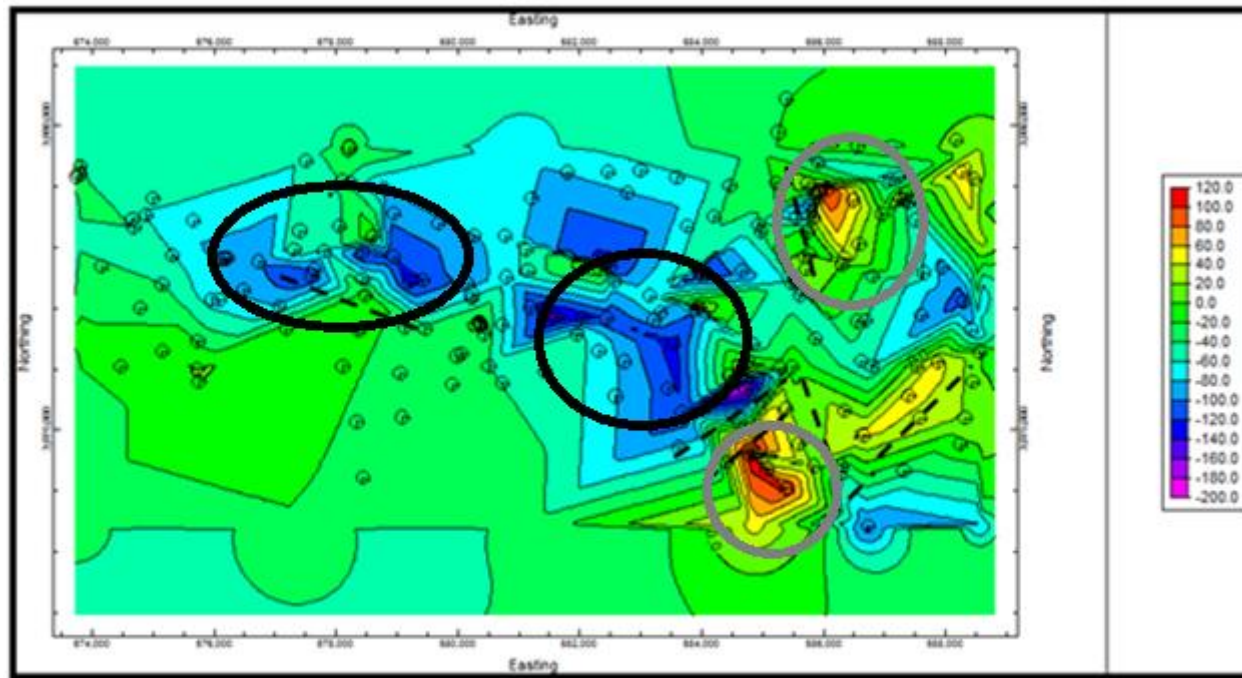
Στην Εικόνα 6.26 υπάρχουν 5 τομές σε διάφορα σημεία του χάρτη. Οι τομές αυτές εξυπηρετούν στην υπόδειξη των σημείων με την εμφανέστερη χρωματική μεταβολή του χάρτη. Στη συνέχεια, παρατηρείται ότι, στην Εικόνα 6.27 η οποία είναι ο χάρτης ισοβαθών της ενότητας του Νεογενούς υπάρχουν 7 τομές κατανεμημένες στο χάρτη. Συγκρίνοντας τους δύο χάρτες ισοβαθών παρατηρείται ότι και στους δυο έχουν σημειωθεί τομές νοτιοανατολικά και βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης με τις τομές αυτές να βρίσκονται σε κοντινά σημεία.

Με βάση τις εικόνες 6.26 και 6.27 παρατηρείται ένα σύστημα ρηγμάτων, με διεύθυνση ΒΒΔ προς ΝΝΑ, το οποίο οριοθετεί διαφορετικά βάθη στο Αλπικό Υπόβαθρο και το Νεογενές. Το σύστημα αυτό, το οποίο φαίνεται να είναι ενεργό καθ' όλη τη διάρκεια του Νεογενούς μπορεί να συσχετιστεί, με ενεργά ρήγματα του Ολόκαινου.

Ένα από αυτά τα ρήγματα διευθύνσεως ΒΒΔ-ΝΝΑ διαχωρίζει επίσης περιοχές του υποβάθρου και του Νεογενούς, και μπορεί να συσχετιστεί με τα ενεργά ρήγματα του Ολόκαινου.



Εικόνα 6.26: Χάρτης Ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας του υποβάθρου. Τα βάθη είναι σε απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα (Stratigraphy / Structural Elevations / 2-Dimensionals).



Εικόνα 6.27: Χάρτης Ισοβαθών της ανώτερης επιφάνειας των Νεογενών αποθέσεων. Τα βάθη είναι σε απόλυτο υψόμετρο σε μέτρα (Stratigraphy / Structural Elevations / 2-Dimensionals).

Συγκρίνοντας τις εικόνες 6.26 και 6.27, που αποτελούν τους χάρτες ισοβαθών Υποβάθρου και Νεογενούς, παρατηρείται ότι στα σημεία όπου υπάρχουν οι μαύροι κύκλοι και για τις δύο εικόνες υπάρχουν βυθίσματα και για τις δύο ενότητες. Επίσης, στα σημεία όπου υπάρχουν οι γκριζοί κύκλοι υπάρχουν υβώματα. Επίσης, τα βυθίσματα έχουν πάχος 120m και τα υβώματα έχουν πάχος 120m. Τα βυθίσματα και τα υβώματα των δύο χαρτών βρίσκονται στα ίδια σημεία και στους δύο χάρτες κάτι που είναι αναμενόμενο μιας και η ενότητα του Νεογενούς βρίσκεται πιο πάνω από την ενότητα του Υποβάθρου. Τέλος, τα βυθίσματα από τα υβώματα έχουν ύψος 240m.

### **6.7.2. Κατασκευή χαρτών ισοπαχών**

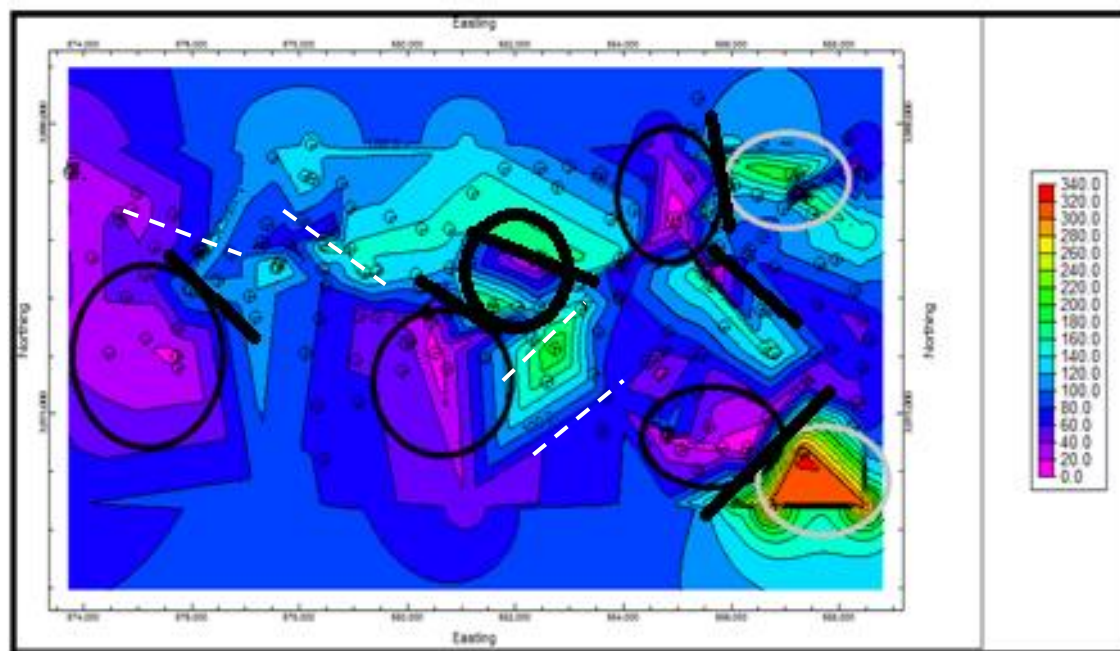
Επιπλέον, το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα κατασκευής χαρτών ισοπαχών. Για την απεικόνιση των χαρτών χρησιμοποιούνται οι εντολές Stratigraphy / Stratigraphic Thicknesses / 2-Dimensional. Στην ουσία, η όλη ιδέα είναι ίδια με αυτή του χάρτη ισοβαθών.

Χάρτες ισοπαχών κατασκευάστηκαν για την ενότητα του Πλειο- Τεταρτογενούς και την ενότητα του Νεογενούς.

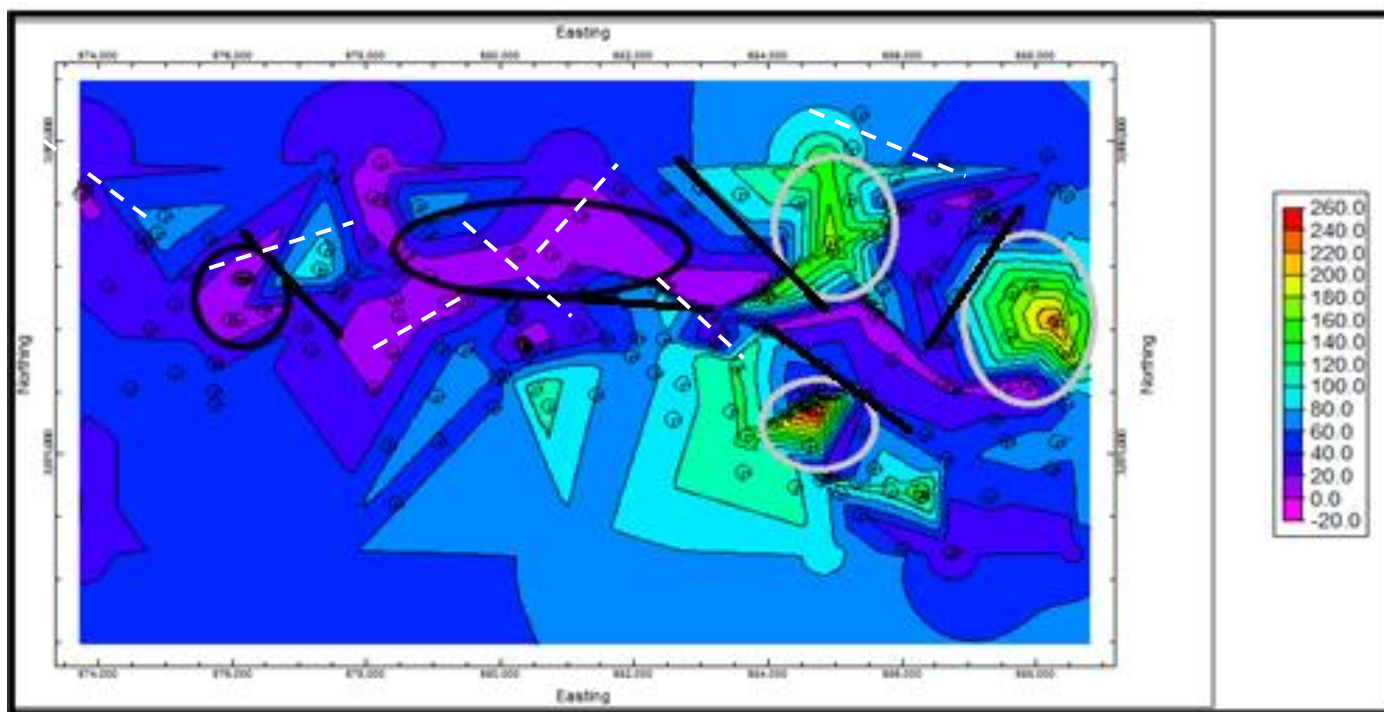
Στην Εικόνα 6.28 παρουσιάζεται ο χάρτης ισοπαχών της ενότητας του Πλειο- Τεταρτογενούς και στα δεξιά της να βρίσκεται η χρωματική κλίμακα του χάρτη η οποία έχει εύρος από 0 ως το +340. Επιπλέον, στο χάρτη υπάρχουν 8 τομές οι οποίες παρουσιάζουν τα σημεία έντονης χρωματικής αλλαγής του χάρτη. Η εντονότερη χρωματική αλλαγή στο χάρτη αυτό βρίσκεται νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης, όπου από το +300 περίπου πάει στο +80 περίπου.

Στο χάρτη ισοπαχών της ενότητας του Νεογενούς (Εικόνα 6.29) η χρωματική κλίμακα του κυμαίνεται από το -20 ως το +260. Συνολικά υπάρχουν 7 τομές που δείχνουν τις χρωματικές αλλαγές του χάρτη με την εντονότερη να βρίσκεται νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης.

Τέλος, όπως και στους χάρτες ισοβαθών έτσι και στους χάρτες ισοπαχών παρατηρείται ότι οι χρωματικές τους αλλαγές βρίσκονται σε πολύ κοντινά σημεία στη περιοχή με διευθύνσεις κυρίως βορειοδυτικές και νοτιοανατολικές.



Εικόνα 6.28: Χάρτης της ανώτερης και κατώτερης επιφάνειας τις λιθοστρωματογραφικής ενότητας του Πλειο-Τεταρτογενούς  
(Stratigraphy/Stratigraphic Thicknesses/2-Dimensional (Isopach)



Εικόνα 6.29: Χάρτης της ανώτερης και κατώτερης επιφάνειας τις λιθοστρωματογραφικής ενότητας του Νεογενούς  
(Stratigraphy /Stratigraphic Thicknesses/2-Dimensional(Isopach)

Συγκρίνοντας τις εικόνες 6.28 και 6.29, που αποτελούν τους χάρτες ισοπαχών Πλειο-Τεταρτογενούς και Νεογενούς, παρατηρείται ότι στα σημεία όπου υπάρχουν οι μαύροι κύκλοι και για τις δύο εικόνες υπάρχουν βυθίσματα και για τις δύο ενότητες. Επίσης, στα σημεία όπου υπάρχουν οι γκριζοί κύκλοι υπάρχουν υβώματα. Επίσης, τα βυθίσματα έχουν πάχος 20m και τα υβώματα έχουν πάχος 240m στην ενότητα του Νεογενούς ενώ στην ενότητα του Πλειο-Τεταρτογενούς τα βυθίσματα είναι περίπου στην επιφάνεια της γης και τα υβώματα στα 340m πάνω από αυτή. Ουσιαστικά αυτές οι απότομες χρωματικές αλλαγές παρουσιάζουν την αλλαγή πάχους κάθε ενότητας στην επιφάνεια μελέτης.

## 6.8. Χάραξη τυχαίων τομών στην περιοχή μελέτης

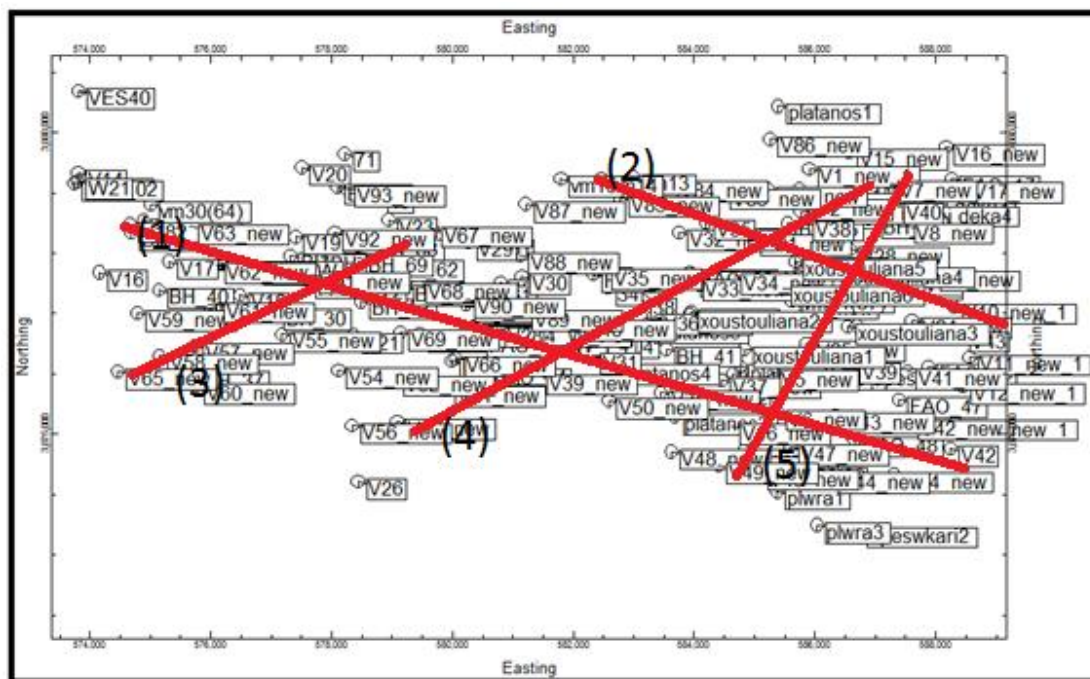
Από τους χάρτες τόσο των ισοβαθών όσο και των ισοπαχών με βάση την απότομη χρωματική αλλαγή στους πίνακες προέκυψαν κάποια πιθανά ρήγματα στη περιοχή μελέτης.

Με βάση τα ήδη γνωστά ρήγματα στην περιοχή μελέτης (Βλέπε Εικόνα 6.41 μαύρο κύκλο) χαράχτηκαν πέντε τομές από τις οποίες οι δύο πρώτες έχουν διεύθυνση παράλληλη με αυτή των ρηγμάτων και οι τρεις τελευταίες έχουν διεύθυνση κάθετη με αυτή των ρηγμάτων. Στη συνέχεια, παρατίθεται πίνακας (Πίνακας 6.3) με τις συντεταγμένες των τομών που χαράχτηκαν αλλά και απεικόνιση τους σε χάρτη της περιοχής μελέτης (Εικόνα 6.30).

Πίνακας 6.3: Συντεταγμένες τελικών επιλεγμένων τομών

Section		Easting	Northing
1	Minimum	576121	3877844
	Maximum	588242	3875208
2	Minimum	583587	3879184
	Maximum	588285	3877153
3	Minimum	574434	3876085
	Maximum	579015	3878575
4	Minimum	579132	3875263
	Maximum	586227	3878928
5	Minimum	585357	3874089
	Maximum	587378	3878951





Εικόνα 6.30: Χάρτης παράλληλων και κάθετων τομών ως προς την διεύθυνση των ρηγμάτων

## 6.9.Κατασκευή λιθοστρωματογραφικών και λιθολογικών προφίλ

### 6.9.1. Κατασκευή λιθοστρωματογραφικών προφίλ

Για τις παραπάνω τομές (Εικόνα 6.30), όπως παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα, δημιουργήθηκαν λιθοστρωματογραφικά προφίλ με την εντολή Stratigraphy/ Profile (Εικόνα 6.31, Εικόνα 6.32, Εικόνα 6.33, Εικόνα 6.34, Εικόνα 6.35).

### 6.9.2. Κατασκευή λιθολογικών προφίλ

Μετά τη δημιουργία των λιθοστρωματογραφικών προφίλ των τομών ακολούθησε και η δημιουργία αντίστοιχων λιθολογικών προφίλ, με τη χρήση των εντολών του λογισμικού Lithology/ Profile, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω με τη σειρά.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα λιθολογικά προφίλ των τομών, τα οποία όπως παρατηρείται φτάνουν σε βάθος 300m κάτω από τη γη.

#### 6.9.2.1. Κριτήρια χαρακτηρισμού των λιθολογικών προφίλ των επιλεχθεισών ευθειών γραμμών

##### 6.9.2.1.1. Λιθοστρωματογραφικό Κριτήριο

Ένα από τα κριτήρια χαρακτηρισμού των λιθολογικών προφίλ των τομών που επιλέγονται είναι και το βάθος στο οποίο η λιθοστρωματογραφική ενότητα του Νεογενούς παρουσιάζει το μεγαλύτερο πάχος. Για τον προσδιορισμό του βάθους αυτού χρησιμοποιήθηκε από την εντολή Stratigraphy η επιλογή Volumetric η οποία παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας

ενός πίνακα της μεταβολής πάχους των στρωματογραφικών ενότητων συναρτήσει του βάθους. Έτσι, από τον πίνακα αυτό εντοπίστηκε το βάθος στο οποίο η ενότητα του Νεογενούς παρουσιάζει τα μεγαλύτερα πάχη τα οποία κυμαίνονται στα  $20,38 \cdot 10^7$  ως  $30,43 \cdot 10^7$  (Πίνακας 6.4). Όπως παρατηρείται, το μεγαλύτερο πάχος παρουσιάζεται κάτω από τη γη και συγκριμένα στα 5m ως 65m κάτω από την γη.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται για την ενότητα του Νεογενούς μιας και σε αυτή την ενότητα ανήκουν οι ψαμμίτες, η άργιλος, τα κροκαλοπαγή και η μάργα οι οποίοι είναι από τα πετρώματα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον μιας και χαρακτηρίζονται ως πορώδεις. Έτσι, με την ύπαρξη ή όχι των ψαμμιτών καθορίζεται εν μέρει η κυκλοφορία ή όχι του νερού σε έναν γεωθερμικό ταμιευτήρα.

Πίνακας 6.4: Μεταβολή πάχους της λιθοστρωματογραφικής ενότητας του Νεογενούς συναρτήσει του βάθους

Βάθος (m)		Λιθοστρωματογραφική Ενότητα
Maximum Elevation	Minimum Elevation	Neogene (m <sup>3</sup> )
25	15	203800000
15	5	243625000
5	-5	281675000
-5	-15	313600000
-15	-25	342275000
-25	-35	353275000
-35	-45	349175000
-45	-55	327850000
-55	-65	304300000
-65	-75	258350000
-75	-85	204375000

Επομένως, κατά την παρατήρηση των λιθολογιών προφίλ θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο βάθος αυτό όπου παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες τιμές πάχους της ενότητας του Νεογενούς.

#### 6.9.2.1.2. Λιθολογικά Κριτήρια

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για να δημιουργηθεί ένας γεωθερμικός ταμιευτήρας παίζουν σημαντικό ρόλο και τα πετρώματα τα οποία βρίσκονται γύρω από αυτόν.

Έτσι λοιπόν, σκοπός της δημιουργίας των λιθολογικών προφίλ των ευθειών που καλύπτουν τα κριτήρια για τον εντοπισμό πιθανών ρηγμάτων είναι να παρατηρηθεί η κατανομή των

πετρωμάτων σε αυτά με κύριο ενδιαφέρον να παρουσιάζεται για τον ψαμμίτη, τα κροκαλοπαγή, την άργιλο και τη μάργα. Τα πετρώματα αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο ομάδες, των λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων αποθέσεων, με τον ψαμμίτη και τα κροκαλοπαγή να ανήκουν στην ομάδα των αδρόκοκκων αποθέσεων και την άργιλο με την μάργα στην ομάδα των λεπτόκοκκων αποθέσεων.

### **6.9.3. Λιθοστρωματογραφικά και λιθολογικά προφίλ**

#### **6.9.3.1. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ πρώτης τομής**

Η πρώτη τομή έχει διεύθυνση παράλληλη με την διεύθυνση των ρηγμάτων και καταλαμβάνει μεγάλη έκταση εφόσον ξεκινάει από την αριστερή πλευρά της περιοχής ενδιαφέροντος και καταλήγει στην δεξιά της πλευρά.

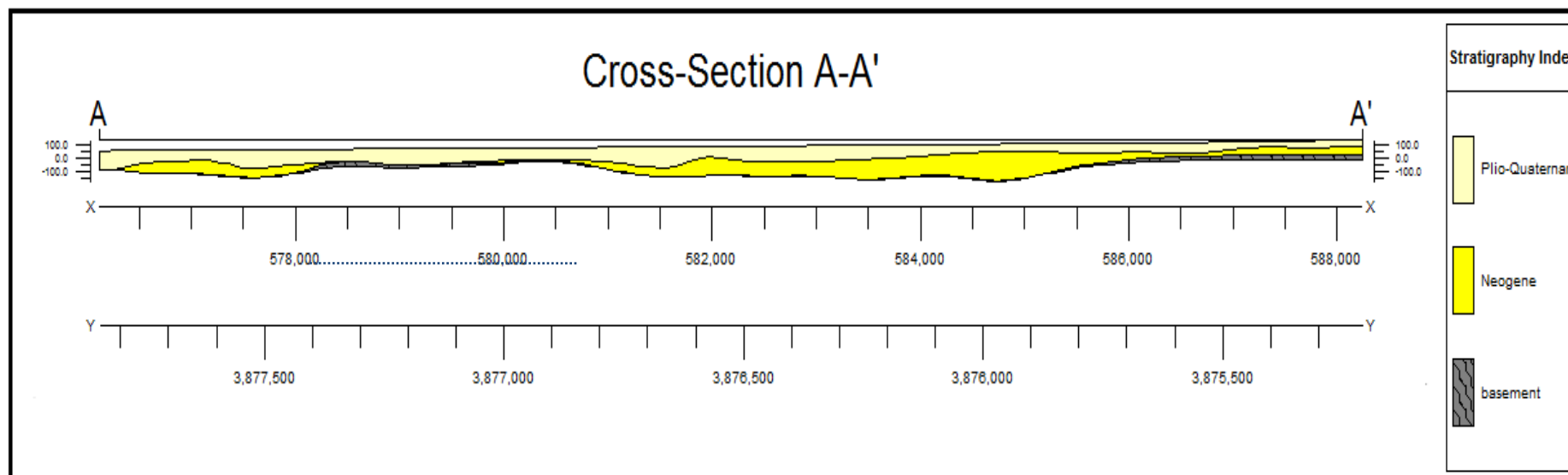
Παρατηρώντας την Εικόνα 6.31, υπάρχουν εναλλαγές της κλίσης της ενότητας του Υποβάθρου κυρίως όσο προχωράει η τομή από βορειοδυτικά προς νοτιοδυτικά. Στα σημεία όπου έχουν εντοπιστεί τα ρήγματα, τα οποία παρουσιάζονται στο λιθοστρωματογραφικό προφίλ με μπλε διακεκομμένη γραμμή, η αλλαγή της κλίσης είναι εμφανείς.

Επιπλέον, παρατηρώντας το λιθοστρωματογραφικό προφίλ της τομής από τον άξονα του Easting, στα 56000m έως τα 578000m και στα 581000 έως τα 585000m ότι υπάρχουν βαθουλώματα. Ενώ στα 578000m έως τα 58100m και στα 585000m έως το τέλος του προφίλ υπάρχουν υβώματα. Στα σημεία όπου εμφανίζονται τα υβώματα το πάχος της ενότητας του Υποβάθρου μειώνεται κατά πολύ.

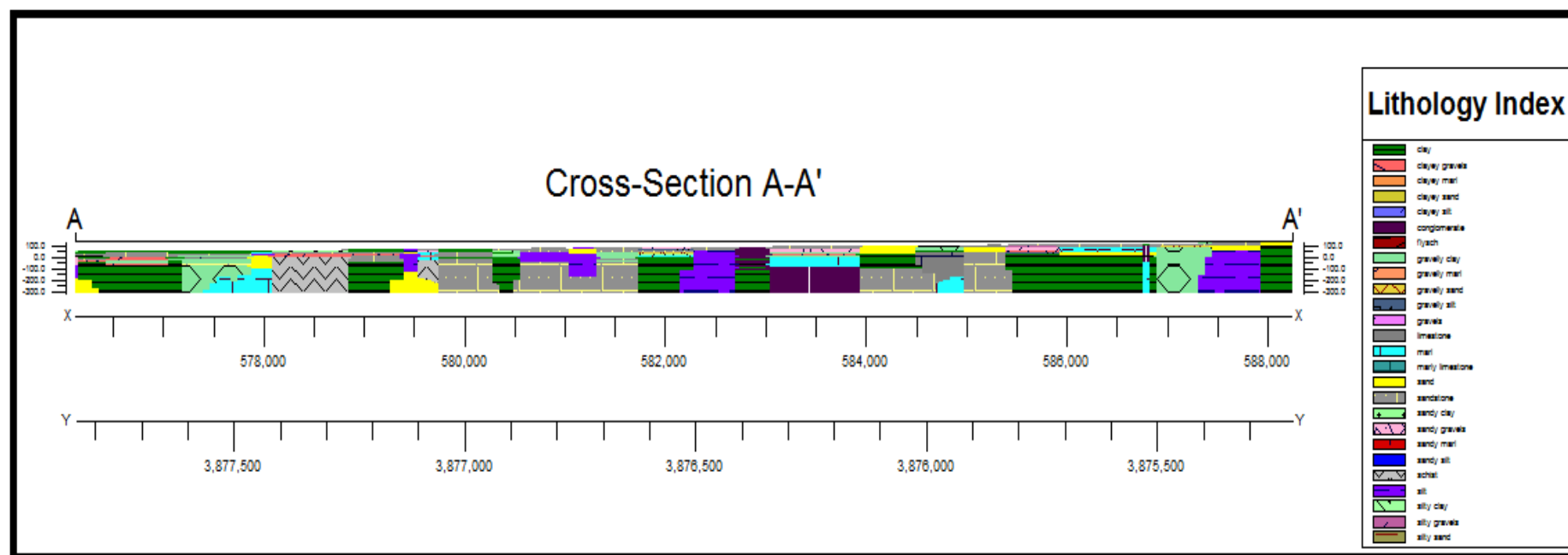
Στην Εικόνα 6.32, η οποία αποτελεί το λιθολογικό προφίλ της τομής, οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή και ο άργιλος είναι τα πετρώματα τα οποία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο χώρο. Μάλιστα, υπάρχει μια εναλλαγή άργιλου με ψαμμίτη.

Στα σημεία όπου εντοπίστηκαν τα βαθουλώματα του προφίλ παρατηρείται ότι, στο πρώτο βαθούλωμα η άργιλος καταλαμβάνει μια σημαντική έκταση και η άμμος πολύ λίγη ενώ στο δεύτερο την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή.

Τέλος, τοποθετώντας και τα δύο προφίλ το ένα κάτω από το άλλο μπορεί να εστιαστεί το σημείο όπου υπάρχει η μπλε διακεκομμένη γραμμή στην Εικόνα 6.31 και στα δύο προφίλ. Στο σημείο αυτό, στην Εικόνα 6.32, παρατηρείται ότι καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο ο ψαμμίτης, η άργιλος και άμμος σε ένα βάθος το οποίο ξεκινάει περίπου από την επιφάνεια της γης και καταλήγει 300m κάτω από αυτήν.



Εικόνα 6.31: Λιθοστρωματογραφικό προφίλ πρώτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσεϊ των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων (Stratigraphy/ Profile)



Εικόνα 6.32: Λιθολογικό προφίλ πρώτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα λιθολογίας (Lithology/Profile)

### **6.9.3.2. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ δεύτερης τομής**

Η δεύτερη τομή έχει διεύθυνση παράλληλη με την διεύθυνση των ρηγμάτων με βορειοανατολική διεύθυνση πιο πάνω από τα ρήγματα που εντοπίστηκαν στα νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης.

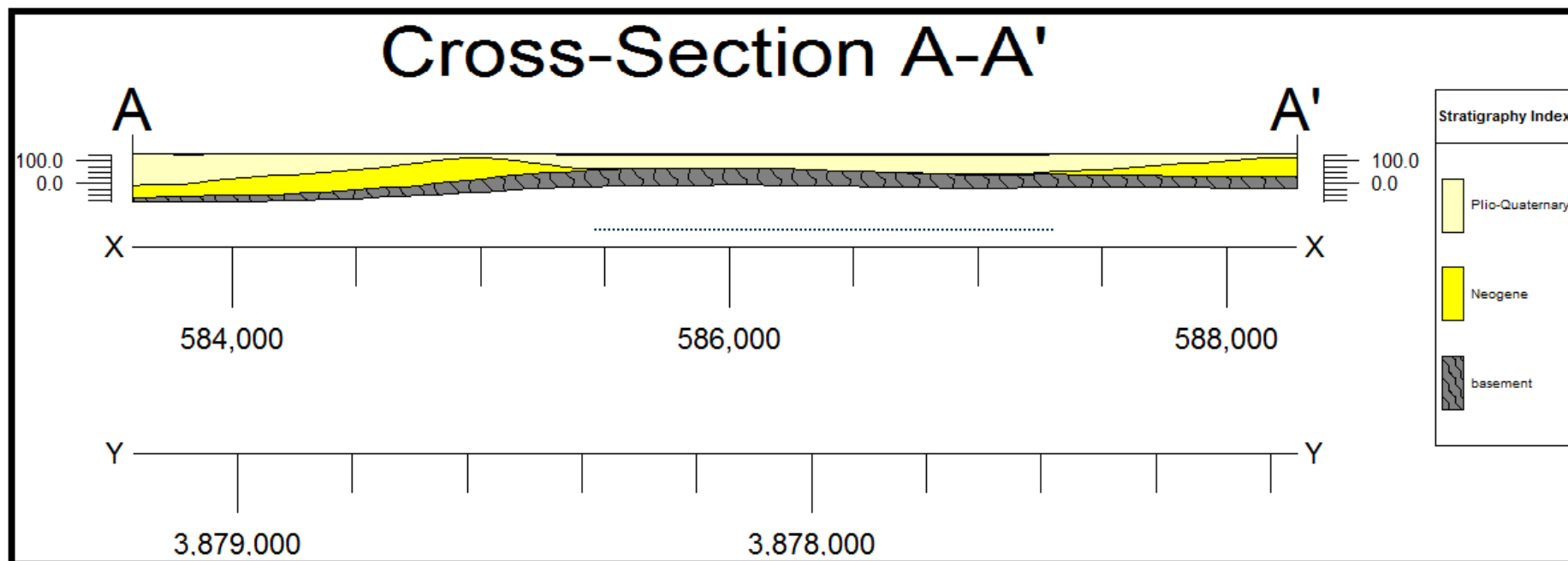
Παρατηρώντας την Εικόνα 6.33, υπάρχουν η ενότητα του Υποβάθρου, στο σημείο που βρίσκεται η μπλε διακεκομμένη γραμμή, βρίσκεται πάρα πολύ κοντά με την ενότητα του Πλειο- Τεταρτογενούς με την ενότητα του Νεογενούς να μην φαίνεται να υπάρχει στο συγκεκριμένο σημείο. Συγκρίνοντας την Εικόνα 6.33 με την Εικόνα 6.30 το σημείο που βρίσκεται η μπλε διακεκομμένη γραμμή της Εικόνας 6.33 είναι ακριβώς πιο πάνω από το σημείο που έχουν εντοπιστεί τα ρήγματα.

Στο λιθοστρωματογραφικό προφίλ της δεύτερης τομής παρατηρείται ότι, με βάση τον άξονα του Easting, από τα 583500m έως τα 587000m υπάρχει μια ύβωση κατά την οποία αυξάνεται το πάχος της ενότητας του Υποβάθρου και μειώνεται το πάχος της ενότητας του Νεογενούς.

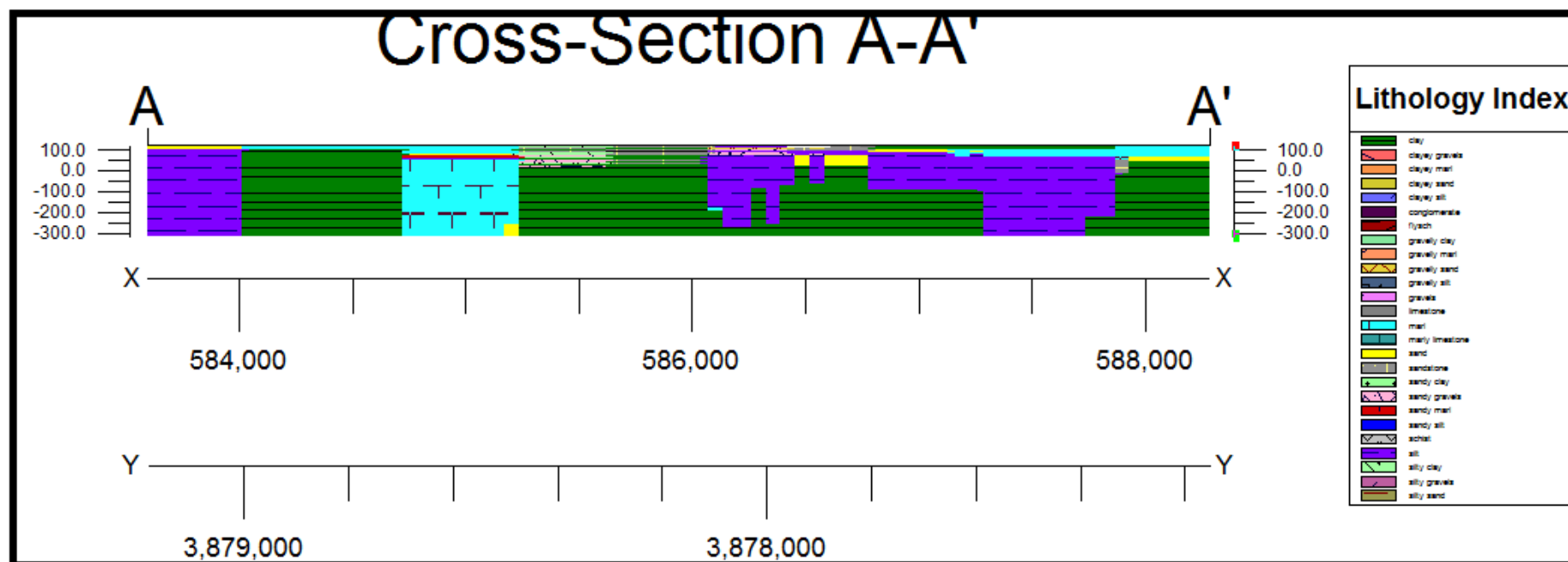
Στη συνέχεια, παρατίθεται το λιθολογικό προφίλ της δεύτερης τομής (Εικόνα 6.34). Παρατηρώντας το λιθολογικό προφίλ, είναι εμφανές ότι ο άργιλος καταλαμβάνει τον μεγαλύτερο χώρο σε σχέση με τον ψαμμίτη και την μάργα που ναι μεν υπάρχουν αλλά καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο χώρο.

Εστιάζοντας στο σημείο της μπλε διακεκομμένης γραμμής, η οποία βρίσκεται στην Εικόνα 6.33, στο λιθολογικό προφίλ (Εικόνα 6.34), σε ένα βάθος από την επιφάνεια της γης έως 300m κάτω από αυτή κυριαρχεί ο άργιλος.

Τέλος, στο σημείο όπου εμφανίζεται η ύβωση παρατηρείται ότι υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις άργιλου και μικρότερες μάργας.



Εικόνα 6.33: Λιθοστρωματογραφικό προφίλ δεύτερης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων (Stratigraphy/ Profile)



Εικόνα 6.34: Λιθολογικό προφίλ δεύτερης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα λιθολογίας (Lithology/Profile)



### **6.9.3.3. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ τρίτης τομής**

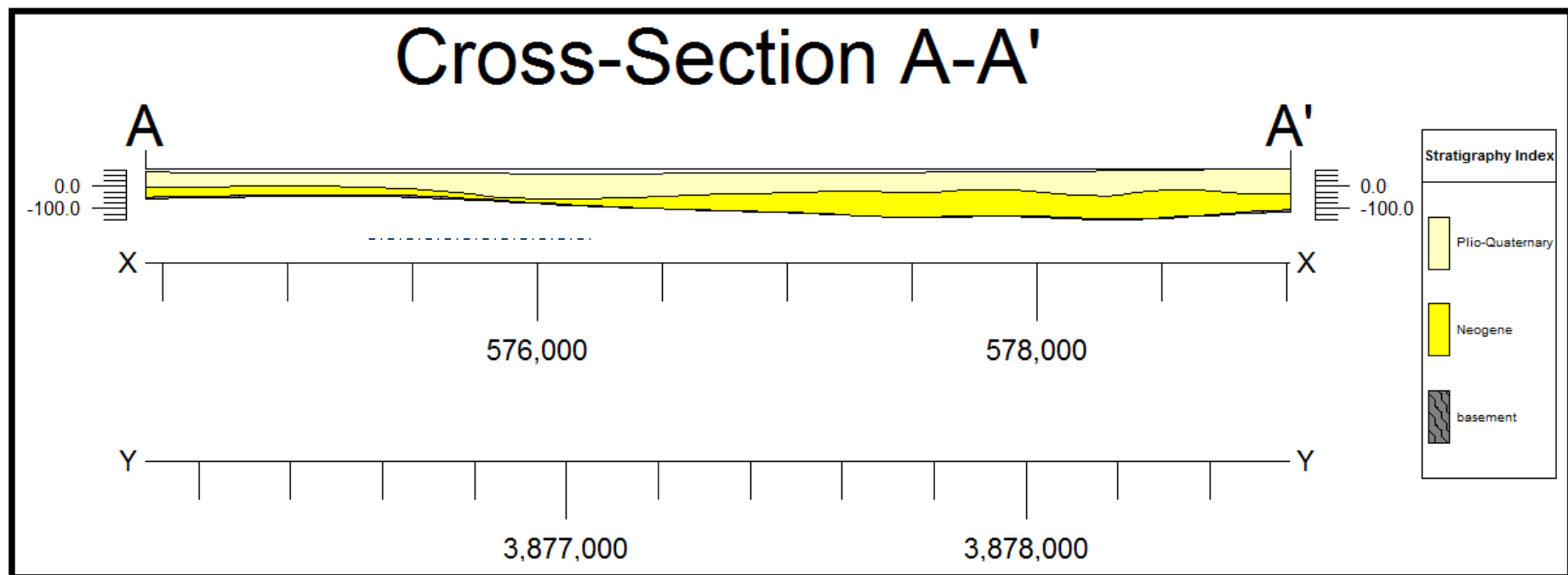
Η Εικόνα 6.35 παρουσιάζει το λιθοστρωματογραφικό προφίλ της τρίτης τομής η οποία έχει διεύθυνση κάθετη με αυτή των ρηγμάτων. Ουσιαστικά η τομή αυτή έχει κατεύθυνση βορειοδυτική και διαπερνά το σημείο με τα πρώτα πιθανά ρήγματα. Στο σημείο όπου υπάρχει η μπλε διακεκομμένη γραμμή στο λιθοστρωματογραφικό προφίλ της τομής αυτής, η ενότητα του Υποβάθρου φτάνει πολύ κοντά στην ενότητα του Πλειο- Τεταρτογενούς.

Στο λιθολογικό προφίλ της τρίτης τομής, βάση του άξονα του Easting, από τα 574500m έως τα 676500m υπάρχει μια ύβωση ενώ στα 576500m έως το τέλος του προφίλ ένα βαθούλωμα. Στο σημείο όπου παρατηρείται το βαθούλωμα το πάχος της ενότητας του Νεογενούς μειώνεται.

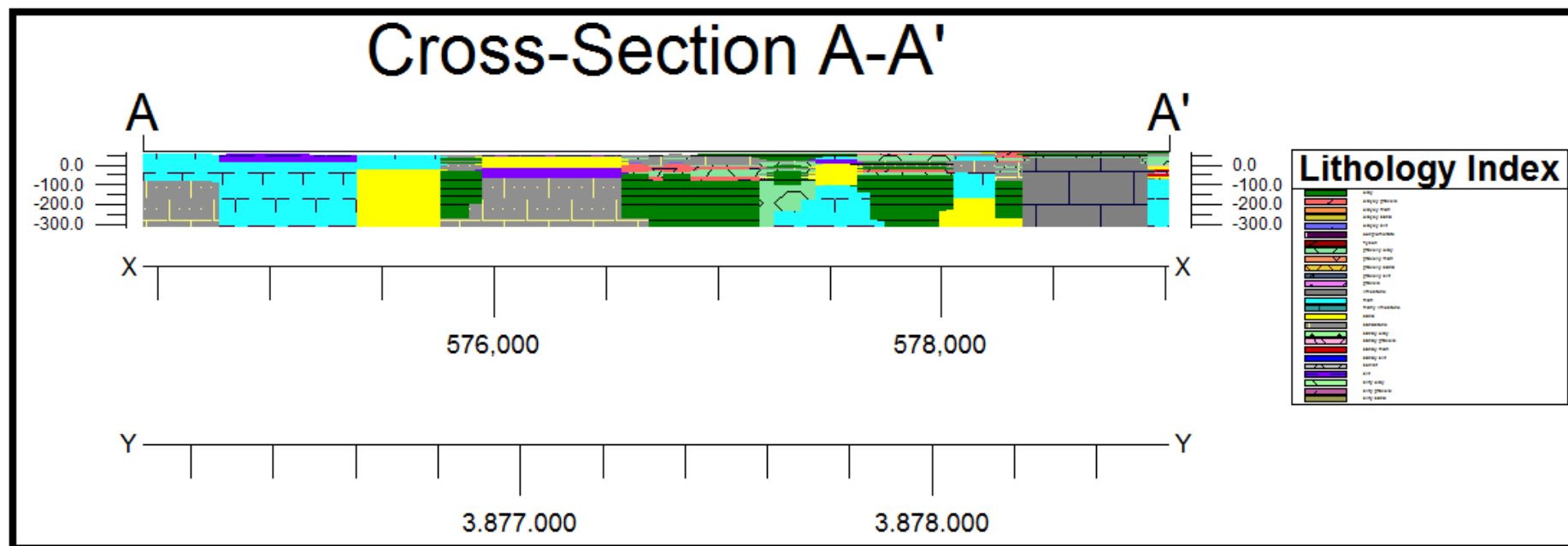
Στην Εικόνα 6.36 ο ψαμμίτης, ο άργιλος και η μάργα καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλες εκτάσεις από αυτές των αποθέσεων .

Συγκρίνοντας το σημείο όπου βρίσκεται η μπλε διακεκομμένη γραμμή της Εικόνας 6.35 με την Εικόνα 6.36, παρατηρείται ότι σε αυτό το σημείο όσων αφορά το λιθολογικό προφίλ σε βάθος από την επιφάνεια της γης έως 300m κάτω από αυτήν καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις τόσο ο ψαμμίτης όσο και η άμμος. Μια πολύ μικρή εμφάνιση έχει και η άργιλος.

Τέλος, στο σημείο όπου παρατηρείται η ύβωση υπάρχει μάργα, άργιλος, άμμος και ψαμμίτες με τους τελευταίους να καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση. Ενώ, στο σημείο που υπάρχει το βαθούλωμα υπάρχει μικρή ποσότητα άργιλου.



Εικόνα 6.35: Λιθοστρωματογραφικό προφίλ τρίτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων (Stratigraphy/ Profile)



Εικόνα 6.36: Λιθολογικό προφίλ τρίτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσκει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα λιθολογίας (Lithology/Profile)

#### **6.9.3.4. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ τέταρτης τομής**

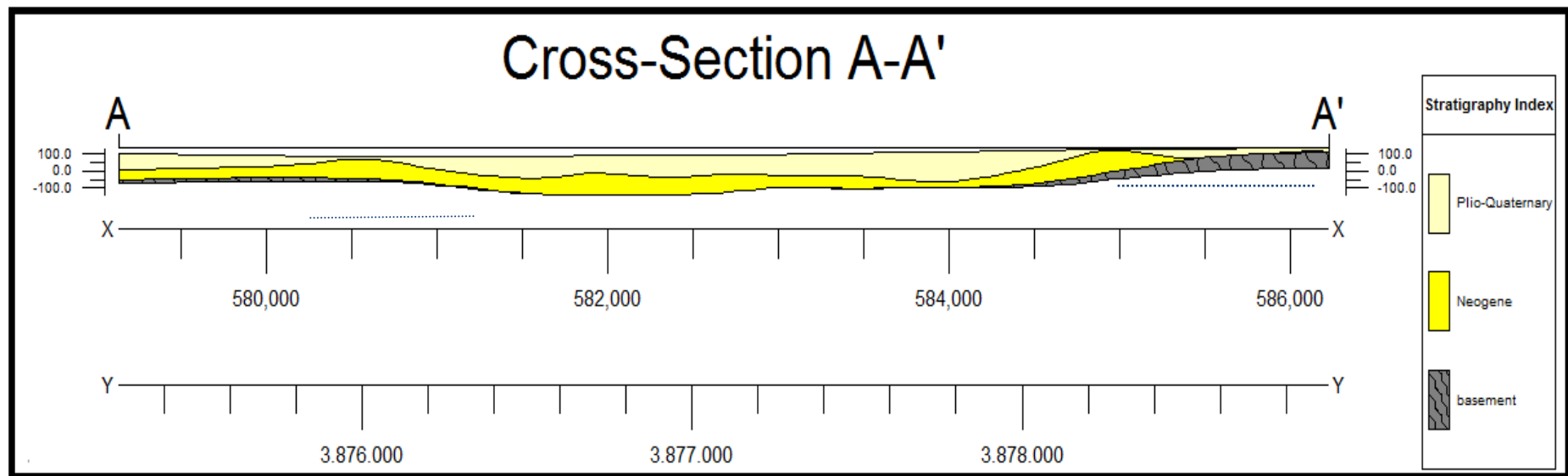
Το λιθοστρωματογραφικό προφίλ της τέταρτης τομής παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.37. Η τομή αυτή έχει διεύθυνση από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, η διεύθυνση της είναι κάθετη με αυτή των πιθανών ρηγμάτων. Παρατηρώντας την Εικόνα 6.30 και την Εικόνα 6.33, επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι η τομή αυτή διαπερνάει τις τομές που επιλέχθηκαν ως την αρχή την πιθανών ρηγμάτων. Επίσης, στα σημεία όπου βρίσκονται οι μπλε διακεκομμένες γραμμές στην Εικόνα 6.34 παρατηρείται μια αλλαγή στη κλίση της ενότητας του Υποβάθρου. Συγκριμένα από αριστερά προς τα δεξιά στη πρώτη διακεκομμένη γραμμή βρίσκεται το σημείο όπου η τομή διαπερνά τα πιθανά ρήγματα και στη δεύτερη μπλε γραμμή βρίσκεται το σημείο όπου η τομή αυτή διαπερνά την δεύτερη τομή ( Βλέπε Εικόνα 6.30 και Εικόνα 6.33). Τέλος, στη δεύτερη μπλε διακεκομμένη γραμμή η ενότητα του Υποβάθρου φαίνεται να βρίσκεται στην επιφάνεια της γης.

Στο λιθολογικό προφίλ της τομής, με βάση τον άξονα του Easting, παρατηρείται ότι από την αρχή του προφίλ ως τα 581000m και στα 584500m μέχρι το τέλος του προφίλ υπάρχει υπάρχουσ υβώματα. Στο πρώτο σημείο το πάχος της ενότητας του Υποβάθρου μειώνεται ενώ στο δεύτερο αυξάνεται. Επίσης, στο δεύτερο σημείο μειώνεται το πάχος της ενότητας του Νεογενούς.

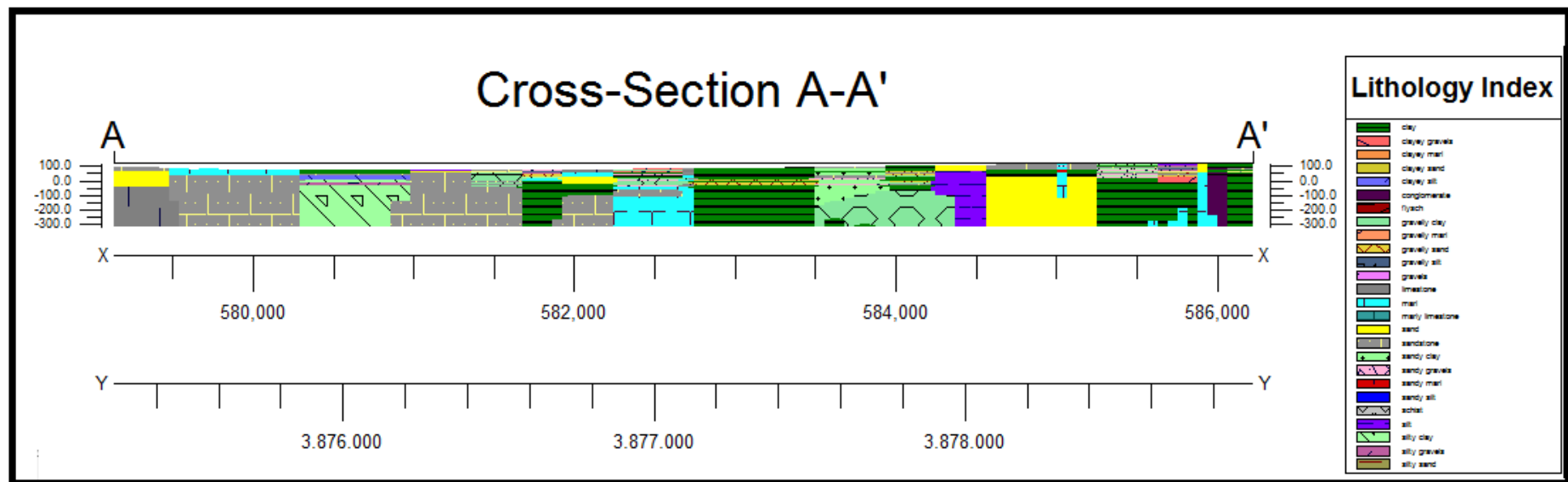
Παρατηρώντας στην εικόνα 6.38, το σημείο όπου βρίσκεται η πρώτη μπλε διακεκομμένη γραμμή της εικόνας 6.37, παρατηρείται ότι ο ψαμμίτης καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση σε βάθος από την επιφάνεια της γης έως 300m κάτω από αυτή.

Σο σημείο όπου βρίσκεται η δεύτερη μπλε διακεκομμένη γραμμή, δεξιά της Εικόνας 6.37, εστιάζεται στο λιθολογικό προφίλ της τομής (Εικόνα 6.38). Στο σημείο αυτό παρατηρείται ότι έως τα 300m κάτω από τη γη υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις άμμου και άργιλου και μια μικρή έκταση κροκαλοπαγών.

Τέλος, στο πρώτο σημείο των υβωμάτων υπάρχει μεγάλη έκταση ψαμμιτών ενώ στο δεύτερο μεγάλες εκτάσεις άργιλου και άμμου.



Εικόνα 6.37: Λιθοστρωματογραφικό προφίλ τέταρτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων (Stratigraphy/ Profile)



Εικόνα 6.38: Λιθολογικό προφίλ τέταρτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα λιθολογίας (Lithology/Profile)

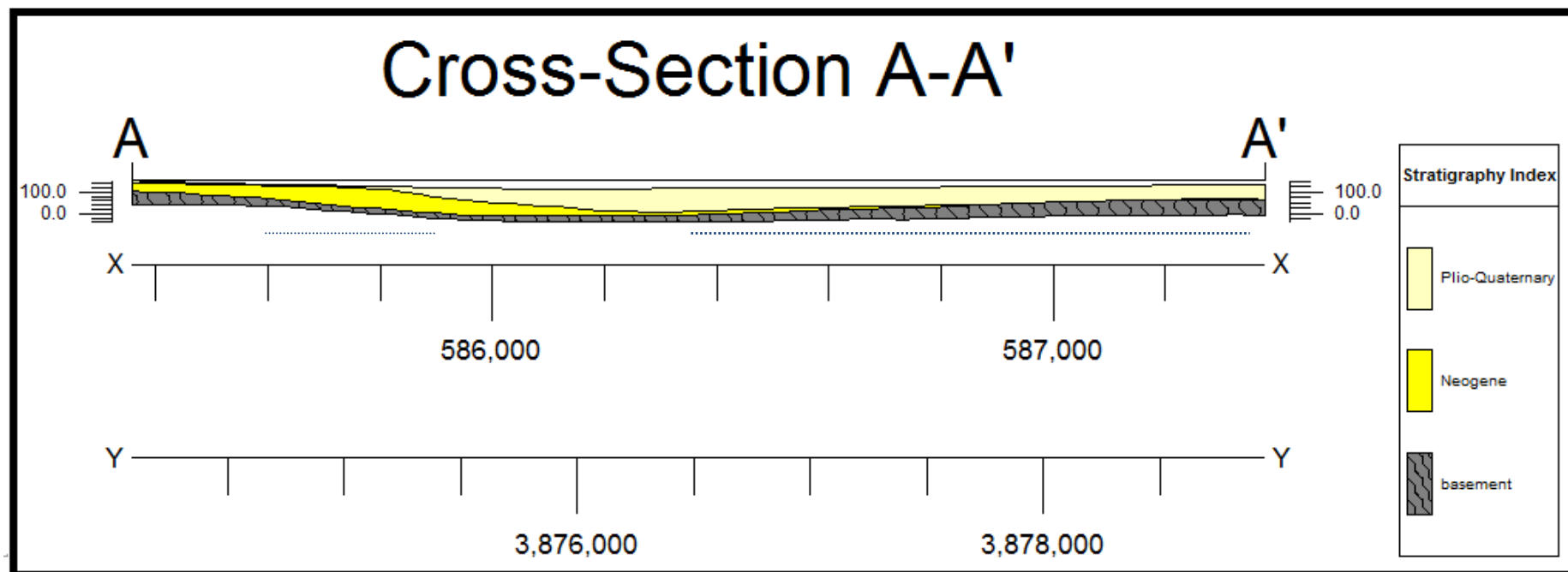
#### **6.9.3.4. Λιθοστρωματογραφικό και λιθολογικό προφίλ πέμπτης τομής**

Στην Εικόνα 6.39 παρουσιάζεται το λιθοστρωματογραφικό προφίλ της τελευταίας τομής η οποία έχει διεύθυνση κάθετη με αυτή των πιθανών ρηγμάτων αλλά και νοτιοανατολική προς βορειοανατολική ως προς την περιοχή μελέτης. Η τομή αυτή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.30, αρχικά διαπερνά το σημείο πιθανών ρηγμάτων και στη συνέχεια την δεύτερη τομή (Εικόνα 6.32). Παρατηρώντας την Εικόνα 6.35 από αριστερά προς τα δεξιά στην πρώτη διακεκομμένη μπλε γραμμή που υπάρχει βρίσκεται το σημείο το οποίο η τομή διαπερνά το σημείο πιθανών ρηγμάτων και στη δεύτερη διακεκομμένη γραμμή βρίσκεται το σημείο όπου διαπερνά την δεύτερη τομή. Επίσης, στην δεύτερη μπλε διακεκομμένη γραμμή η ενότητα του Υποβάθρου καταλαμβάνει μεγαλύτερο πάχος και βρίσκεται στην επιφάνεια της γης. Τέλος, από αριστερά προς δεξιά της Εικόνας 6.39 η ενότητα του Νεογενούς ενώ αρχικά εμφανίζεται στη συνέχεια το πάχος που έχει μειώνεται σε σημείο όπου όταν εμφανίζεται η δεύτερη μπλε διακεκομμένη γραμμή να μην είναι εμφανείς η ύπαρξη της ενότητας αυτής.

Παρατηρώντας το λιθοστρωματογραφικό προφίλ της τομής, στον άξονα του Easting, από την αρχή του προφίλ μέχρι τα 58600m και στα 586750m ως το τέλος υπάρχει ύβωση με την δεύτερη να είναι πολύ μικρή. Στην δεύτερη ύβωση παρατηρείται αύξηση του πάχους της ενότητας του Υποβάθρου και μείωση της ενότητας του Νεογενούς.

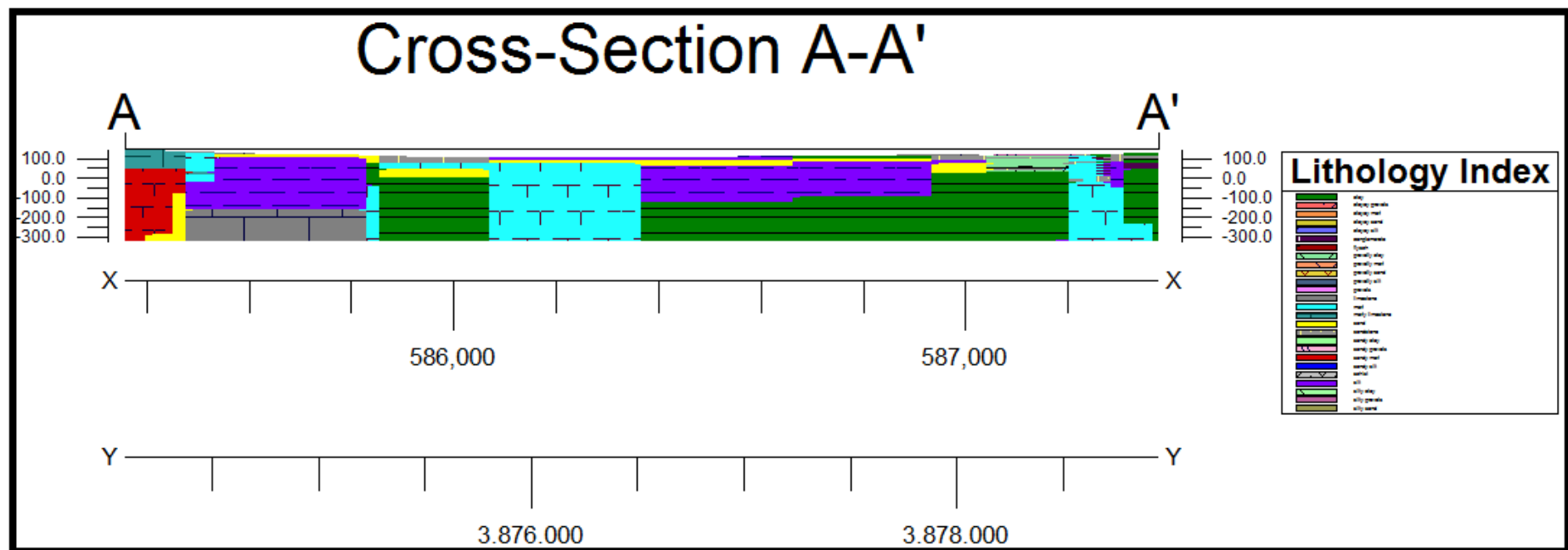
Συγκρίνοντας τα δύο σημεία που βρίσκονται οι μπλε διακεκομμένες γραμμές της Εικόνας 6.39 με την Εικόνα 6.40, η οποία αποτελεί το λιθολογικό προφίλ της τομής, παρατηρείται ότι στο σημείο όπου βρίσκεται η αριστερή μπλε διακεκομμένη γραμμή υπάρχουν ο ασβεστόλιθος και η ιλύς σε μεγάλες εκτάσεις και η άργιλος με την άμμο σε πάρα πολύ μικρές εκτάσεις. Σε αντίθεση με την πρώτη μπλε διακεκομμένη γραμμή, στη δεύτερη υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις άργιλου και μικρές εκτάσεις μάργας και άμμου.

Τέλος, στο πρώτο σημείο όπου παρατηρήθηκε ύβωση καταλαμβάνεται μια σημαντική έκταση από άργιλο και μια μικρότερη από άμμο. Ενώ, στο σημείο όπου παρατηρήθηκε η δεύτερη ύβωση μια μεγαλύτερη έκταση από άργιλο εμφανίζεται.



Εικόνα 6.39: Λιθοστρωματογραφικό προφίλ πέμπτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα των λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων (Stratigraphy/ Profile)





Εικόνα 6.40: Λιθολογικό προφίλ πέμπτης τομής ,με κλίμακα 1:1, συναρτήσει των συντεταγμένων της τομής με το βάθος και στα δεξιά παρουσιάζεται το υπόμνημα λιθολογίας (Lithology/Profile)

## 6.10.Συμπεράσματα

Συγκεκριμένα η περιοχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας βρίσκεται περίπου στη περιοχή Μητρόπολη και Χουστουλιανά, δηλαδή στα αριστερά του χάρτη.

Με βάση λοιπόν τους χάρτες ισοβαθών της περιοχής μελέτης, παρατηρείται ένα σύστημα ρηγμάτων, με διεύθυνση BBD προς NNA, το οποίο οριοθετεί διαφορετικά βάθη στο Αλπικό Υπόβαθρο και το Νεογενές. Το σύστημα αυτό, το οποίο φαίνεται να είναι ενεργό καθ' όλη τη διάρκεια του Νεογενούς μπορεί να συσχετιστεί, με ενεργά ρήγματα του Ολόκαινου.

Ένα από αυτά τα ρήγματα διευθύνσεως BBD-NNA διαχωρίζει επίσης περιοχές του υποβάθρου και του Νεογενούς, και μπορεί να συσχετιστεί με τα ενεργά ρήγματα του Ολόκαινου.

Επίσης, από την χάραξη τομών στην περιοχή, κάποιες από τις οποίες έχουν διεύθυνση παράλληλη και κάποιες άλλες διεύθυνση κάθετη με την διεύθυνση ήδη γνωστών ρηγμάτων εντοπίστηκε η περιοχή στην οποία υπάρχει η μεγαλύτερη συγκέντρωση ψαμμιτών και κροκαλοπαγών.

Αρχικά στην Εικόνα 6.41 παρατίθεται χάρτης στον οποίο η περιοχή μελέτης αποτελεί μέρος αυτού. Στον μαύρο κύκλο παρουσιάζονται οι τομές που χαράχτηκαν. Κατά δεύτερον, στην Εικόνα 6.42 παρουσιάζονται οι τομές που χαράχτηκαν αλλά και σε μαύρο κύκλο η περιοχή όπου, από έρευνες που γίνονται μέχρι και σήμερα, έχουν βρεθεί νερά με θερμοκρασία μέχρι και 30°C. Στην περιοχή αυτή υπάρχουν 18 γεωτρήσεις με σκοπό την μελέτη των υπόγειων νερών της περιοχής ως προς τη θερμοκρασία τους. Με την ύπαρξη νερών με τέτοια θερμοκρασία μπορεί να γίνει λόγος για έναν πιθανό υδροθερμικό ταμιευτήρα στην περιοχή.

Σκοπός των τομών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι με βάση τα λιθολογικά και λιθοστρωματογραφικά τους προφίλ να εντοπιστεί σε το σημείο στην περιοχή μελέτης στο οποίο υπάρχει η περισσότερη συγκέντρωση ψαμμιτών και κροκαλοπαγών μιας και τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν μια υδροπερατότητα σε αντίθεση με τη μάργα και την άργιλο που είναι στεγανά πετρώματα. Έτσι, από τα προφίλ αυτά (Βλέπε 6.9.3) παρατηρήθηκε ότι στις τομές 1,3 και 4 υπάρχει η μεγαλύτερη συγκέντρωση ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Συγκεκριμένα στην τομή 1 παρατηρώντας τα προφίλ της (Βλέπε Εικόνα 6.31 και Εικόνα 6.32) συγκέντρωση ψαμμιτών υπάρχει και στη περιοχή όπου βρίσκονται οι γεωτρήσεις που ερευνούν τη θερμοκρασία των υπόγειων νερών (Βλέπε Εικόνα 6.42, μαύρο κύκλο). Επίσης, στους γκρίζους κύκλους της Εικόνας 6.42

0 5 10 15 Kilometers

ΥΠΟΜΙΝΗΜΑ

	Λεκάνη Μοιρών - Πλασιόκαινο		Λεκάνη Ασπιού - Αλυβιακός		Ρήγμα ΙΓΜΕ
	Λεκάνη Μοιρών - Αλυβιακός		Λεκάνη Χάρακα - Αλυβιακός		Ρήγμα κάτω από το αλλούβο ;
	Λεκάνη Βαγιονιάς - Αλυβιακός		Πλευρικά Κορήματα - Ριτίδες		προσδιορισμένο από γεωτρήσεις
	Λεκάνη Βαγιονιάς - Πλασιόκαινο		Οικισμός		

A map of the study area showing sampling locations and transects. The map is oriented with Easting on the horizontal axis and Northing on the vertical axis. The Easting axis ranges from 874,000 to 886,000, and the Northing axis ranges from 574,000 to 586,000. The map displays numerous sampling locations, many of which are labeled with codes such as VES40, W2102, V30(64), V20, V93 new, V221, V63 new, V19, V92 new, V67 new, V222, V16, V17, V62, BH 401, V59 new, V65, V30 new, V5 new, V1, V69 new, V54 new, V56 new, V26, V87 new, V88 new, V35 new, V30, V65, V90 new, V39 new, V50 new, V48, V47, V42, V44, V45, V46, V47, V48, V49, V50, V51, V52, V53, V54, V55, V56, V57, V58, V59, V60, V61, V62, V63, V64, V65, V66, V67, V68, V69, V70, V71, V72, V73, V74, V75, V76, V77, V78, V79, V80, V81, V82, V83, V84, V85, V86, V87, V88, V89, V90, V91, V92, V93, V94, V95, V96, V97, V98, V99, V100, V101, V102, V103, V104, V105, V106, V107, V108, V109, V110, V111, V112, V113, V114, V115, V116, V117, V118, V119, V120, V121, V122, V123, V124, V125, V126, V127, V128, V129, V130, V131, V132, V133, V134, V135, V136, V137, V138, V139, V140, V141, V142, V143, V144, V145, V146, V147, V148, V149, V150, V151, V152, V153, V154, V155, V156, V157, V158, V159, V160, V161, V162, V163, V164, V165, V166, V167, V168, V169, V170, V171, V172, V173, V174, V175, V176, V177, V178, V179, V180, V181, V182, V183, V184, V185, V186, V187, V188, V189, V190, V191, V192, V193, V194, V195, V196, V197, V198, V199, V200, V201, V202, V203, V204, V205, V206, V207, V208, V209, V210, V211, V212, V213, V214, V215, V216, V217, V218, V219, V220, V221, V222, V223, V224, V225, V226, V227, V228, V229, V230, V231, V232, V233, V234, V235, V236, V237, V238, V239, V240, V241, V242, V243, V244, V245, V246, V247, V248, V249, V250, V251, V252, V253, V254, V255, V256, V257, V258, V259, V260, V261, V262, V263, V264, V265, V266, V267, V268, V269, V270, V271, V272, V273, V274, V275, V276, V277, V278, V279, V280, V281, V282, V283, V284, V285, V286, V287, V288, V289, V290, V291, V292, V293, V294, V295, V296, V297, V298, V299, V300, V301, V302, V303, V304, V305, V306, V307, V308, V309, V310, V311, V312, V313, V314, V315, V316, V317, V318, V319, V320, V321, V322, V323, V324, V325, V326, V327, V328, V329, V330, V331, V332, V333, V334, V335, V336, V337, V338, V339, V340, V341, V342, V343, V344, V345, V346, V347, V348, V349, V350, V351, V352, V353, V354, V355, V356, V357, V358, V359, V360, V361, V362, V363, V364, V365, V366, V367, V368, V369, V370, V371, V372, V373, V374, V375, V376, V377, V378, V379, V380, V381, V382, V383, V384, V385, V386, V387, V388, V389, V390, V391, V392, V393, V394, V395, V396, V397, V398, V399, V400, V401, V402, V403, V404, V405, V406, V407, V408, V409, V410, V411, V412, V413, V414, V415, V416, V417, V418, V419, V420, V421, V422, V423, V424, V425, V426, V427, V428, V429, V430, V431, V432, V433, V434, V435, V436, V437, V438, V439, V440, V441, V442, V443, V444, V445, V446, V447, V448, V449, V450, V451, V452, V453, V454, V455, V456, V457, V458, V459, V460, V461, V462, V463, V464, V465, V466, V467, V468, V469, V470, V471, V472, V473, V474, V475, V476, V477, V478, V479, V480, V481, V482, V483, V484, V485, V486, V487, V488, V489, V490, V491, V492, V493, V494, V495, V496, V497, V498, V499, V500, V501, V502, V503, V504, V505, V506, V507, V508, V509, V510, V511, V512, V513, V514, V515, V516, V517, V518, V519, V520, V521, V522, V523, V524, V525, V526, V527, V528, V529, V530, V531, V532, V533, V534, V535, V536, V537, V538, V539, V540, V541, V542, V543, V544, V545, V546, V547, V548, V549, V550, V551, V552, V553, V554, V555, V556, V557, V558, V559, V560, V561, V562, V563, V564, V565, V566, V567, V568, V569, V570, V571, V572, V573, V574, V575, V576, V577, V578, V579, V580, V581, V582, V583, V584, V585, V586, V587, V588, V589, V590, V591, V592, V593, V594, V595, V596, V597, V598, V599, V600, V601, V602, V603, V604, V605, V606, V607, V608, V609, V610, V611, V612, V613, V614, V615, V616, V617, V618, V619, V620, V621, V622, V623, V624, V625, V626, V627, V628, V629, V630, V631, V632, V633, V634, V635, V636, V637, V638, V639, V640, V641, V642, V643, V644, V645, V646, V647, V648, V649, V650, V651, V652, V653, V654, V655, V656, V657, V658, V659, V660, V661, V662, V663, V664, V665, V666, V667, V668, V669, V670, V671, V672, V673, V674, V675, V676, V677, V678, V679, V680, V681, V682, V683, V684, V685, V686, V687, V688, V689, V690, V691, V692, V693, V694, V695, V696, V697, V698, V699, V700, V701, V702, V703, V704, V705, V706, V707, V708, V709, V710, V711, V712, V713, V714, V715, V716, V717, V718, V719, V720, V721, V722, V723, V724, V725, V726, V727, V728, V729, V730, V731, V732, V733, V734, V735, V736, V737, V738, V739, V740, V741, V742, V743, V744, V745, V746, V747, V748, V749, V750, V751, V752, V753, V754, V755, V756, V757, V758, V759, V760, V761, V762, V763, V764, V765, V766, V767, V768, V769, V770, V771, V772, V773, V774, V775, V776, V777, V778, V779, V780, V781, V782, V783, V784, V785, V786, V787, V788, V789, V790, V791, V792, V793, V794, V795, V796, V797, V798, V799, V800, V801, V802, V803, V804, V805, V806, V807, V808, V809, V810, V811, V812, V813, V814, V815, V816, V817, V81

Εικόνα 6.42: Χάρτης παράλληλων και κάθετων τομών ως προς την διεύθυνση των ρηγμάτων

Με βάση όλα τα παραπάνω, στη περιοχή όπου οι γεωτρήσεις μέχρι σήμερα έχουν εντοπίσει νερά θερμοκρασίας μέχρι και 30°C έχουν εντοπιστεί από τα λιθολογικά προφίλ των τομών συγκεντρώσεις ψαμμιτών μέχρι τα 300m κάτω από την επιφάνεια της γης. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν προϋποθέσεις για έναν πιθανό γεωθερμικό ταμιευτήρα, σε ένα μεγαλύτερο βάθος από αυτό που εντοπίστηκαν οι ψαμμίτες, στην περιοχή αυτή. Οι ψαμμίτες επιτρέπουν την κυκλοφορία υπόγειων νερών στην περιοχή αυτή εξαιτίας της υδροδιαπερατότητας τους.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Αλευράς Νικόλαος, 2006. «Γεωηλεκτρική Διασκόπηση για τον προσδιορισμό καρστικών δομών στο οροπέδιο του Ομαλού», Διπλωματική Εργασία Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Βαφείδης Α., 2011. Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής για το προπτυχιακό μάθημα Σεισμικών Μεθόδων Τμήματος Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Βασιλάκης, Ε.Μ., 2006. Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης Μεσσαράς, κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, Α δημοσίευτη διδακτορική διατριβή Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος (ΕΚΠΑ).
- Γκιόκα Π. Αγάπη, 2014. Διπλωματική εργασία «Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη ιζημάτων από Νεογενείς λεκάνες της Κρήτης» Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Κίσσας Βασίλειος, 2013. Διπλωματική Εργασία «Ανίχνευση πιθανών ρηγμάτων με χρήση τρισδιάστατης γεωλογικής μοντελοποίησης» Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Κρίνης Π. 2009. Εφαρμογή μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής σε λεκάνες του ελληνικού χώρου. (Λεκάνη Μεσσαράς του νομού Ηρακλείου, νότια Κρήτη), διατριβή ειδίκευσης, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Εφαρμοσμένης & Περιβαλλοντικής Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Κριτωτάκης Μ. 2009. Διαχείριση Υδατικών Πόρων Μεσσαράς Κρήτης. Διδακτορική Διατριβή, Διατμητικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Έλεγχος Ποιότητας & Διαχείριση Περιβάλλοντος» Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Μανούτσογλου Εμμανουήλ 2008. Σημειώσεις Προπτυχιακού μαθήματος «Γεωλογία Ελλάδος», Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείο Κρήτης.

- Μπελιβάνη Δήμητρα, 2015. Διπλωματική Εργασία «Ιζηματολογική και γεωχημική ανάλυση- Δυναμικό γένεσης υδρογονανθράκων στο νότιο τμήμα της κεντρικής Κρήτης» του Πανεπιστημίου Πατρών
- Μορέλας Β., 2014. «Τρισδιάστατη Γεωλογική προσομοίωση του Πλειο-Τεταρτογενούς της πεδιάδας της Μεσσαράς», Διπλωματική εργασία Τμήματος Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Παπαγρηγορίου, Σ., Καϊμάκη, Σ., Νιάδας, Ι., Γκουβάτσου, Ε., Περλέρου, Β. 2001. Μελέτη Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης, Αθήνα.
- Παπαζάχος, Β. 1986. Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- Περιφέρεια Κρήτης, Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων, Κατάσταση υπογείων υδροφορέων Κρήτης, Νοέμβριος 2009.
- Περλέρου, Β., Παπαμαστοράκης, Δ., Κριτσωτάκης, Μ., Δρακοπούλου, Ε., Παναγόπουλος, Α. 2004. Υπόγειο υδατικό δυναμικό Κρήτης, Προβλήματα και προοπτικές, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXVI, 2048-2056, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη.
- Στειακάκης Εμμανουήλ, Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος Υδρογεωλογία και Υδροτεχνικά Έργα, Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Φασουλός, Χ. 2000. Οδηγός υπαίθρου για τη γεωλογία της Κρήτης, Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης, Ηράκλειο.
- Φυτρολάκης, Ν. 1980. Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα, Διατριβή επί υφηγεσία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004. «Γεωθερμία»

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

- Bonneau, M. 1984. Correlation of the Hellinide nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction. In: The geological evolution of the eastern Mediterranean, Dixon, J. E. & Robertson, A. H. F. (Editors), Geological Society, Blackwell scientific publications ltd edit., Oxford, London, Edimbourg, Boston, Palo, Alto, Carlton, Sp. Publ., 17, p 517-527.

- Creutzburg, N. & Seidel, E. 1975. On the Present Knowledge of the PreNeogene Geology in Crete (Greece). N. Jb. Geol. Palaeont. Abh, 149, 363-383, Stuttgart, Epting, M., Kudrass, H. R., Leppig, U. & Schaefer, A. (1972): Geologie der Talea Ori/Kreta. N. Jb. Geol. Palaeont. Abh, 141, p 259-285.
- De Donatis, M., Borraccini, F., Susini, S. 2009. Sheet 280 - Fosombrone 3D: A study project for a new geological map of Italy in three dimensions. Computers & Geosciences, 35, p. 19-32.
- Gable, C. W., Trease, H., and Cherry, T. 1996. Geological Applications of Automatic Grid Generation Tools for Finite Elements Applied to Porous Flow Modeling. In Numerical Grid Generation in Computational Fluid Dynamics and Related Fields, Soni, B. K., Thompson, J. F., Hausser, H., Eiseman, P. R. (Editors), Engineering Research Center, Mississippi State Univ. Press.
- Hinze, C., Sobisch, H. G., H-H, V. 1999. Spatial modeling in geology and its practical use, Mathematische Geologie, 4, p 51-60.
- Kessler, H., Mathers, S., Sobisch, H. G. 2009. The Capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. Computers & Geosciences 35, p 1311-1321.
- Knupp, P. & Steinberg, S. 1994. Fundamentals of Grid Generation. CRC Press, Boca Raton, Florida, p 286.
- Mallett, J. L. 1992. GOCAD: a computer aided design program for geological applications. In: Three-dimensional Modeling with Geoscientific Information Systems, Turner, A. K. (Editor), Kluwer, London. p 123-141.
- Mallet, J. L. 2002. Geomodeling. Oxford University Press, New York. p 599.
- Meulenkamp, J.E., Jonkers, A., Spank, P. 1979. Late Miocene to Early Pliocene development of Crete, Proceedings of the VI colloquium on the Geology of the Aegean Region, Athens, p 137-149.
- Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliass, A., Eleftheriadis, G., Christofides, G. 1983. Paleogeographic conditions in the western pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area, Canadian Journal of Ear. Sc., 20, p 1673-1681.

- Panagopoulos G, Giannakakos E., Manoutsoglou E., Steiakakis E., Soupios P. & Vafidis A, 2013. Definition Of Inferred Faults Using 3D geological modeling techniques: A case study in Tympaki basin in Crete, Greece (υπο εκτύπωση). - Πρακτικά 13ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 5 – 8 Σεπτεμβρίου 2013. .
- Petersek, A. & Schwarze, J. 2004. Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece), Department of Geomorphology, University of Bayreuth, 95440 Bayreuth, Germany.
- RockWare, Inc., RockWorks 17, f USA.
- Royse, K. R., Rutter, H. K., Entwisle, D. C. 2009. Property attribution of 3D geological models in the thames gateway: new ways of visualising geoscientific information, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68, p 1-16.
- Rosenbaum, M. S. & Turner, A. K. 2003. New paradigms in subsurface prediction: characterization of the shallow subsurface implications for urban infrastructure and environmental assessment Springer, Number 99, p 397, Springer-Verlag, Berlin.
- Ten Veen, J. H. 1998. Post-early Messinian counterclockwise rotations on Crete: implications for Late Miocene to Recent kinematics of the southern Hellenic arc, Tectonophysics Volume 298, Issues 1-3, 30 November 1998, p 177-189.
- Turner, A. K. 2000. Geoscientific Modeling: Past, Present and Future. In: Geographic Information Systems in Petroleum Exploration and Development, Coburn, T. C. and Yarus, J. M. (Editors), AAPG Computer Applications in Geology, Vol. 4, American Association Petroleum Geologists, p 27-36.
- Wycisk, P., Hubert, T., Gossel, W., Neumann, C. 2009. High-resolution 3D spatial modelling of complex geological structures for an environmental risk assessment of abundant mining and industrial megasites. Computers & Geosciences, 35, p 165-182.



- Xue, Y., Sun, M., Ma, A. 2004. On the reconstruction of three-dimensional complex geological objects using Delaunay triangulation, Future Generation Computer Systems, 20, p 89-104.

## **ΠΑΡΑΤΗΜΑ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας Π.1: Γεωτρήσεις διπλωματικής εργασίας Μορέλα (2014)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (z)	TotalDepth
14	584921,9	3878378,3	133	175
27	585515,1	3877467	120	100
34	582570,4	3877440,9	81	150
38	583147,1	3877208,9	88	180
39	586299,3	3874413	120	150
42	584700,3	3875704	105	310
43	580799,2	3877518,8	80	150
45	578785,7	3878974	100	180
56	585837,3	3874413	140	126
58	584835,7	3874640,9	132	125
61	580772,5	3878192	80	150
64	582412,3	3877722	82	210
71	578215,2	3879653,3	120	130
76	585734,7	3878253,1	135	150
9	587259,6	3878805,2	140	105
BH_27	573795,3	3879199,5	40	17
BH_29	576736,6	3877770,2	60	180
BH_30	577068,5	3877030,1	60	112
BH_31	578483,4	3877204,7	68,201	114
BH_32	579458,8	3876668,9	80	138
BH_33	579982,6	3876217,3	80	139
BH_34	577309,3	3877963,3	60	102
BH_35	577809	3877945,3	60	120
BH_36	582441,5	3876837,4	80	220
BH_37	575726	3876006	76,6	85
BH_38	581586,5	3876855,5	80	230
BH_39	585706,9	3877638,8	123,871	130
BH_40	575141,8	3877387,8	40	80
BH_41	583538,5	3876410,6	80	250
BH_42	578092	3879101,3	101,488	140

BH_44	586960	3878547	140	143
BH_60	580227	3877162,6	80	138
BH_61	580154,8	3877415,4	80	172
BH_62	578934,9	3877842,9	74,627	195
BH_63	579205,9	3877433,5	79,02	210
BH_64	584643,9	3876004,2	100	80
BH_65	585548,8	3878496,8	139,178	140
BH_68	578603,8	3878186,1	69,364	74

Πίνακας Π.2: Γεωτρήσεις διπλωματικής εργασίας Μορέλα (2014)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	TotalDepth
BH_69	578435,2	3877921,2	66,983	235
BH_8	574684,2	3878339	40	80
FAO_03	576218,2	3877820,5	60	150
FAO_04	581950,6	3876570,6	80	134
FAO_05	587875,3	3876118,6	120	72
FAO_06	585480,2	3876038,5	100	106
FAO_08	582334,4	3877655,9	88,542	88
FAO_09	583914,6	3877674,7	105,665	200
FAO_09_W	583927,5	3877670	67,943	200
FAO_10	586329,9	3877824,1	129	96
FAO_11	585738,8	3879063,8	144	129
FAO_12	583949,6	3877030,4	100	83
FAO_13	577601,5	3877543,5	60	210
FAO_14	580510	3876048,2	80	120
FAO_16	574884,1	3878532,7	40	101
FAO_17	588261,2	3879240,3	160	100
FAO_18	575955,5	3877145,3	57	126
FAO_43	576144,9	3877818,1	43,891	75
FAO_43_W	576182,3	3877819,1	43,506	75
FAO_44	580348,1	3876782,9	67,945	83,5
FAO_44_W	580360,9	3876762,2	67,943	25
FAO_44_W_P1	580363,3	3876757,3	67,97	20
FAO_44_W_P2	580370,5	3876736,3	67,868	20
FAO_44_W_P3	580382,3	3876702,5	68,205	20
FAO_44_W_P4	580427,8	3876578,3	69,095	20
FAO_44_W_P5	580356,1	3876758,9	68,348	20
FAO_44_W_P6	580342,8	3876750,7	68,01	20
FAO_47	587388,5	3875576,2	125,473	76
FAO_48	586655,2	3874916,1	123,208	77,5

Πίνακας Π.3: Βυθοσκοπήσεις διπλωματικής εργασίας Μορέλα (2014)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	TotalDepth
V10_new	588296,1	3877124,3	130	243
V10_new_1	588296,1	3877124,3	130	243
V11_new	588556,7	3876274,6	125	120
V11_new_1	588556,7	3876274,6	125	120
V12_new	588439,7	3875790,2	130	120
V12_new_1	588439,7	3875790,2	130	120
V13_new	588316,6	3875195	142	125
V13_new_1	588316,6	3875195	142	125
V14	573802,5	3879335,2	65	165
V14_new	587313	3874326,8	155	325
V15	573806,6	3880696	50	95
V15_new	586557,7	3879681,6	155	195
V16	574151,4	3877683	70	145
V16_new	588166,8	3879763,7	188	388
V17	575309	3877867,7	55	141
V17_new	588456,2	3879133,6	165	265
V18	576482,9	3877307,4	50	95
V182_new	574664,5	3878473,2	65	132
V19	577404,5	3878274,1	65	142
V1_new	585907,1	3879398,3	150	205
V1_new_1	585907,1	3879398,3	150	205
V20	577505	3879425,5	95	115
V21	578369,1	3876634,3	60	270
V22	578430,7	3877479,8	55	191
V23	578943,8	3878555,3	80	205
V24_new	587604,4	3876884,1	130	186
V25_new	585855,8	3876498,3	105	195
V26	578438,9	3874214,5	185	232
V26_new	586689	3876800	115	310
V27	580725,3	3875776,3	65	147
V27_new	586804	3877528,6	120	280
V28	580729,4	3876738,9	65	182
V28_new	586580,3	3878062,2	125	227
V29	580259,4	3878187,9	75	160
V29_new	586481,8	3878778,5	140	245
V2_new	585853,7	3878848,3	175	185
V30	581146	3877615,3	85	215
V30_new	585217,5	3879061,7	150	210
V31	582309,7	3876301,8	75	230

V31_new	584965	3878259,2	135	200
---------	--------	-----------	-----	-----

Πίνακας Π.4: Βυθοσκοπήσεις διπλωματικής εργασίας Μορέλα (2014)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	TotalDepth
V32_new	583752,6	3878346	110	200
V33_new	584005	3877518,8	105	230
V34_new	584649	3877618,9	115	135
V35	584195,9	3878514,3	120	120
V35_new	582498,5	3877695,3	85	160
V36_new	583321,6	3876946,2	80	170
V37_new	584456,5	3875899,5	95	285
V38	585841,4	3878499,4	135	236
V38_new	583444,7	3875688,1	90	215
V39	586609	3876135	105	270
V39_new	581425,1	3875948,8	75	140
V3_new	585771,6	3877889,8	125	417
V40	587327,3	3878792,9	135	110
V40_new	582047	3876851,8	65	275
V41	587639,3	3877588,1	140	192
V41_new	587530,5	3876040,6	110	192
V42	588238,6	3874768,1	175	100
V42_new	587571,6	3875199,1	125	230
V43	588417,2	3876652,2	128	135
V43_new	586340,1	3875309,9	100	285
V44_new	586264,2	3874318,6	125	251
V45_new	585075,9	3874367,9	140	253
V46_new	584618,7	3875125,7	115	256
V47_new	585591	3874778,4	130	342
V48_new	583621,2	3874711,1	120	135
V49_new	584405,2	3874477,2	145	201
V4_new	585609,5	3877212,5	110	236
V50_new	582584,7	3875556,7	80	155
V51_new	579908,4	3875749,7	60	102
V52_new	579048,5	3875930,3	65	179
V53_new	579081,3	3875211,9	85	233
V54_new	578110,5	3876055,5	75	212
V55_new	577176,7	3876658,9	50	130
V56_new	578338,3	3875142,2	120	220
V57_new	575733,8	3876461,9	60	205
V58_new	575146,8	3876291,5	60	145
V59_new	574781,5	3877005,7	60	124
V5_new	585281,1	3876024,2	103	156
V60_new	575752,3	3875801	65	174

V61_new	576078,6	3877143,3	50	269
---------	----------	-----------	----	-----

Πίνακας Π.5: Βυθοσκοπήσεις διπλωματικής εργασίας Μορέλα (2014)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	TotalDepth
V62_new	576090,9	3877798	50	329
V63_new	575655,8	3878440,4	75	150
V64_new	575001,1	3878813,9	70	90
V65_new	574463,4	3876043,2	65	256
V66_new	580056,2	3876254,6	65	215
V67_new	579680,6	3878395,2	75	264
V68_new	579428,1	3877465,5	65	295
V69_new	579130,5	3876689,7	65	234
V6_new	585387,8	3875359,2	120	284
V7_new	587239,1	3879156,1	138	120
V83_new	584460,1	3879020,7	140	140
V84_new	583590,4	3879158,7	135	160
V85_new	582773,6	3878904,2	120	235
V86_new	585256,5	3879895	175	218
V87_new	581209,6	3878816	105	182
V88_new	581121,4	3877962,2	85	195
V89_new	581185	3877016	80	383
V8_new	587505,9	3878454,2	130	150
V90_new	580232,7	3877225,3	70	142
V91_new	577650,8	3877635,8	45	222
V92_new	578051	3878350,1	65	346
V93_new	578241,9	3879068,4	105	226
V9_new	587941	3877670,2	132	330

Πίνακας Π.6: Γεωτρήσεις διπλωματικής εργασίας Γιαννακάκου (2013)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	Total Depth
FAO_02	573739,3	3879165,6	35	70
W21	573795,3	3879199,5	38	17

Πίνακας Π.7: Βυθοσκοπήσεις διπλωματικής εργασίας Γιαννακάκου (2013)

Borehole	Easting (X)	Northing (Y)	Elevation (Z)	Total Depth
VES40	573806,6	3880695,9	56,3	93

Πίνακας Π.8: Λιθολογική ερμηνεία βυθοσκοπήσεων διπλωματικής εργασίας Γιαννακάκου (2013)

Γεώτρηση	Βάθος		Ηλεκτρική Αντίσταση	Λιθολογία
VES40	0	4	40	Sand
	4	13	18	Silt
	13	23	55	Sand
	23	93	17	Silt

Πίνακας 6.9: Βυθοσκοπήσεις με τις μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους (Μορέλας, 2014)

Borehole	Easting	Northing	Depth1	Depth2	Value
V1_new	585907.1	3879398	25	125	70
			125	205	70
V15_new	586557.7	3879682	35	55	30
			55	125	90
			125	195	20
V16_new	588166.8	3879764	0	24	65
			24	311	15
			331	388	50
V2_new	585853.7	3878848	0	15	150
			15	115	65
			115	185	25
V25_new	585855.8	3876498	0	6	30
			6	17	70
			17	72	17
			72	102	60
			102	195	15
V26_new	586689	3876800	0	25	20
			25	52	50
			52	237	20
			237	310	9
V27_new	586804	3877529	0	7	220
			7	23	12
			23	35	50
			35	215	20
			215	280	10
V28_new	586580.3	3878062	0	11	400
			11	31	85
			31	52	15
			52	102	50

			102	227	12
--	--	--	-----	-----	----

Πίνακας 6.10: Βυθοσκοπήσεις με τις μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους  
(Μορέλας, 2014)

Borehole	Easting	Northing	Depth1	Depth2	Value
V29_new	586481.8	3878779	0	20	400
			20	45	19
			45	170	75
			170	245	10
V3_new	585771.6	3877890	0	7	150
			7	67	60
			67	317	22
			317	417	5
V30_new	585217.5	3879062	0	25	13
			25	45	60
			45	210	16
V31	582309.7	3876302	0	25	120
			25	230	17
V33_new	584005	3877519	0	20	70
			20	125	15
			125	175	50
			175	230	15
V34_new	584649	3877619	0	10	16
			10	45	50
			45	135	15
V36_new	583321.6	3876946	0	4	150
			4	29	26
			29	64	50
			64	170	15
V37_new	584456.5	3875899	0	5	90
			5	65	40
			65	200	10
			200	285	80
V38	585841.4	3878499	0	11	240
			11	91	60
			91	236	20
V38_new	583444.7	3875688	0	7	60
			7	137	20
			137	215	50
V39	586609	3876135	0	10	15
			10	30	45
			30	270	20

Πίνακας 6.11: Βυθοσκοπήσεις με τις μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους  
(Μορέλας, 2014)

Borehole	Easting	Northing	Depth1	Depth2	Value
V4_new	585609.5	3877213	0	8	10
			8	33	15
			33	78	70
			78	236	13
V40	587327.3	3878793	0	10	23
			10	50	100
			50	110	15
V43_new	586340.1	387309.9	0	20	110
			20	55	28
			55	95	65
			95	285	13
V45_new	585075.9	3874368	0	8	36
			8	33	15
			33	253	50
V46_new	584618.7	3875126	0	6	20
			6	21	15
			21	151	10
			151	256	100
V48_new	583621.2	3874711	0	10	46
			10	50	15
			50	135	60
V49_new	584405.2	3874477	0	8	180
			8	115	24
			115	201	100
V5_new	5852811	3876024	0	8	200
			8	18	300
			18	68	55
			68	156	80
V50_new	582584.7	3875337	0	8	220
			8	75	24
			75	155	80
V7_new	587239.1	3879156	0	15	450
			15	65	22
			65	120	45
V8_new	587505.9	3878454	0	13	110
			13	28	12
			28	63	70



			63	150	18
--	--	--	----	-----	----

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ROCKWORKS 17**

### **Π.1 Εισαγωγή**

Η ανάγκη για ανάπτυξη της μεταλλευτικής ή πετρελαϊκής βιομηχανίας αλλά και των περιβαλλοντικών και γεωτεχνικών μελετών οδήγησε στην δημιουργία του λογισμικού Rockworks από την εταιρεία Rockware Incorporated.

Στόχος του προγράμματος αυτού είναι η διαχείριση και η ανάλυση χωρικών δεδομένων με την κατασκευή γεωλογικών μοντέλων και την παρουσίασή τους με διαγράμματα δύο (2D) και τριών διαστάσεων(3D). Επιπλέον, το λογισμικό αυτό προσφέρει αξιόπιστες πληροφορίες στον χρήστη χρησιμοποιώντας τα γεωλογικά του εργαλεία.

Το Borehole Manager αποτελεί μια βάση δεδομένων όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων, είτε αυτά αναφέρονται σε γεωτρήσεις είτε σε βυθοσκοπήσεις, με πεδία που περιλαμβάνουν χωρικά δεδομένα, γεωφυσικές και γεωχημικές μετρήσεις, δεδομένα λιθολογίας, στρωματογραφίας. Επίσης, τα εργαλεία (Utilities) δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη δημιουργίας επιφανειών, στερεών μοντέλων, τομών, υπολογισμών όγκων, υδραυλικών και υδροχημικών υπολογισμών, τοπογραφικών μετασχηματισμών.

Για την εκπόνηση της αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η έκδοση του λογισμικού Rockworks 17. Για σκοπούς κατανόησης του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το Παράρτημα της διπλωματικής εργασίας του κ.Βάιου Μορέλα «Τρισδιάστατη γεωλογική προσομοίωση του πλειο-τεταρτογενούς της πεδιάδας της Μεσσαράς» στην οποία όμως, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Rockworks15.

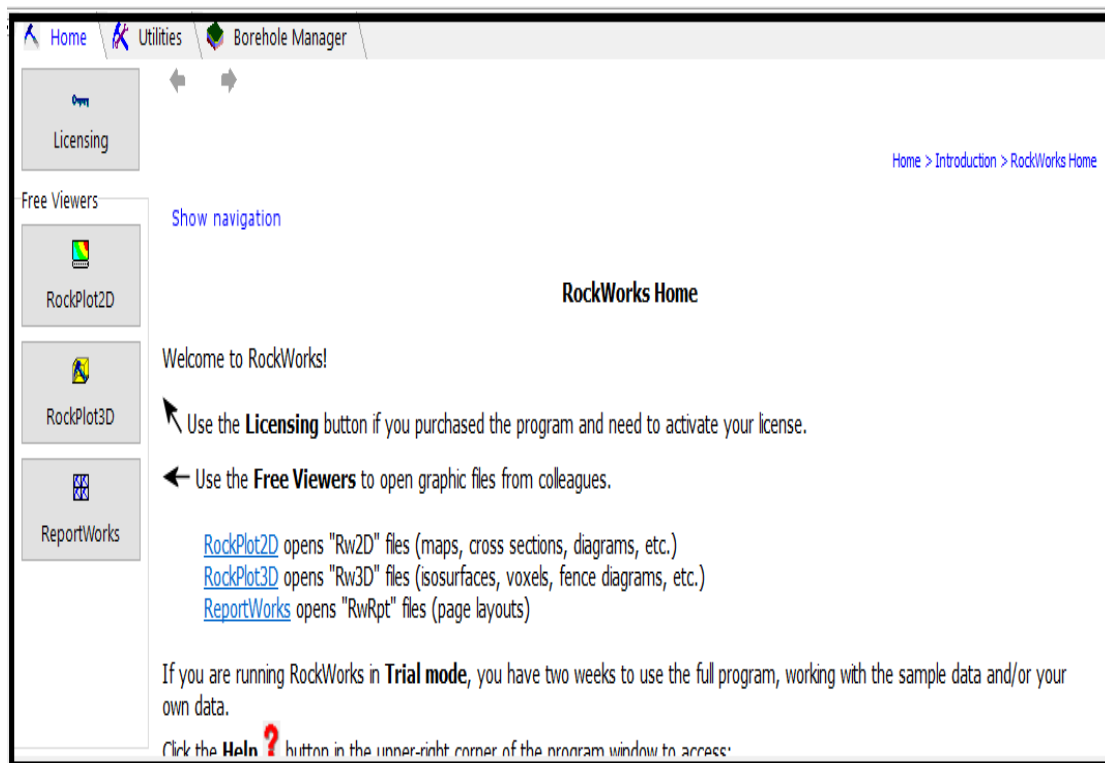
Στη συνέχεια αναπτύσσεται η προσπάθεια δημιουργίας ενός οδηγού χρήσεως του λογισμικού Rockworks17.

## Π.2. Η υποσελίδα Home

Το λογισμικό Rockworks17 περιλαμβάνει τρία (3) γραφικά περιβάλλοντα οπτικοποίησης, τα οποία είναι τα παρακάτω:

- RockPlot2D
- RockPlot3D
- ReportWorks4

Τα περιβάλλοντα αυτά χρησιμεύουν για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων επεξεργασίας των χωρικών πληροφοριών. Στη συνέχεια αναλύεται το κάθε ένα από τα τρία περιβάλλοντα (Εικόνα Π.1).



Εικόνα Π.1: Η υποσελίδα Home και τα περιβάλλοντα που προσφέρει

### **Π.2.1.RockPlot2D**

Το RockPlot2D χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση και επεξεργασία των γραφικών αποτελεσμάτων δύο διαστάσεων (χάρτες, τομές, διαγράμματα). Έτσι, το RockPlot2D παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- διαδραστική ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των επιφανειών/στρωμάτων που θα προβάλλονται
- προσάρτηση πολλαπλών απεικονίσεων σε μία, κατακόρυφη επέκταση (vertical exaggeration)
- χρήση εργαλείων σχεδίασης ή ψηφιοποίησης
- δυνατότητα εξαγωγής των απεικονίσεων σε αρχεία πολλαπλών μορφών (DXF, PNG, JPG, BMP and KMZ) κ.α.

### **Π.2.2.RockPlot3D**

Το περιβάλλον οπτικοποίησης είναι το RockPlot3D, χρησιμοποιείται για την προβολή τρισδιάστατων γραφικών απεικονίσεων (στερεά μοντέλα, πλεγματικά μοντέλα επιφανειών, διαγράμματα). Έτσι, το RockPlot3D παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- διαδραστική ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των δεδομένων που θα προβάλλονται
- προσάρτηση πολλαπλών απεικονίσεων σε μία, προσαρμογή ρυθμίσεων (βαθμός διαφάνειας, γωνία θέασης, ανάλυση κ.ά.)
- περιστροφή των απεικονίσεων γύρω από οποιοδήποτε άξονα κ.α.

Σημείωση: Το RockPlot παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας και των πολυγώνων τα οποία χρησιμοποιούνται από το χρήστη στη μέθοδο Polygon(s) ως είδος απεικόνισης των μοντέλων.

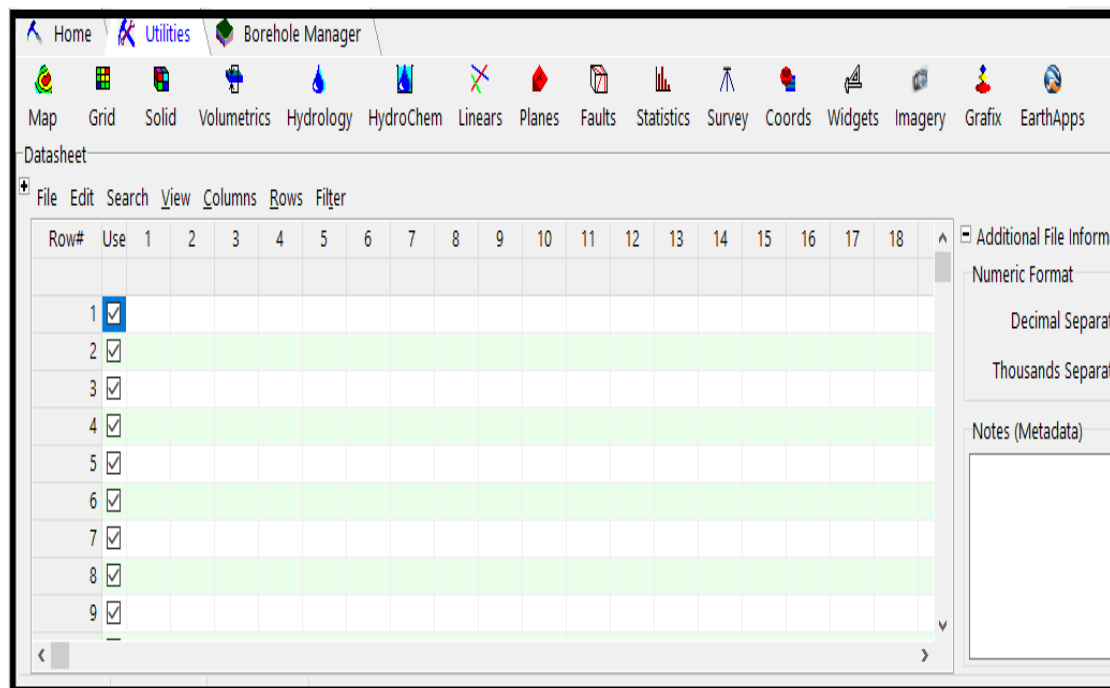
### **Π.2.3.ReportWorks**

Το τρίτο περιβάλλον οπτικοποίησης είναι το ReportWorks, το οποίο χρησιμοποιείται ως φόρμα εισαγωγής πολλαπλών απεικονίσεων για εκτύπωση ή παρουσίαση. Έτσι, παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- ρύθμιση της ανάλυσης κάθε εικόνας που θα εισαχθεί, εισαγωγή εικόνων διαφόρων τύπων (BMP, JPG, TIF)
- προσθήκη κειμένων (π.χ. επικεφαλίδες)
- εισαγωγή υπομνημάτων ανάλυσης ή συντεταγμένων των απεικονίσεων κ.α.

### Π.3. Η υποσελίδα Rock Ware Utilities

Η υποσελίδα αυτή αποτελεί ένα παράθυρο το οποίο παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει δεδομένα υπό την μορφή υπολογιστικού φύλλου. Η μορφή του παράθυρου αυτού είναι παρόμοια με αυτής του Microsoft Excel με διαφοροποιημένες λειτουργίες (Εικόνα Π.2).



Εικόνα Π.2: Η υποσελίδα Rock Ware Utilities

Τα δεδομένα που μπορούν να εισαχθούν στο είναι τα παρακάτω:

- Συντεταγμένες X, Y
- Υψομετρικά δεδομένα Z

Για την δημιουργία τοπογραφικών χαρτών και ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DTM)

- Υδρολογικά δεδομένα
- Υδροχημικά δεδομένα

Για την δημιουργία διαγραμμάτων, όπως διαγράμματα ροής, *riper*, *stiff*

- Τεκτονικά δεδομένα, όπως παρατάξεις και διευθύνσεις κλίσεων

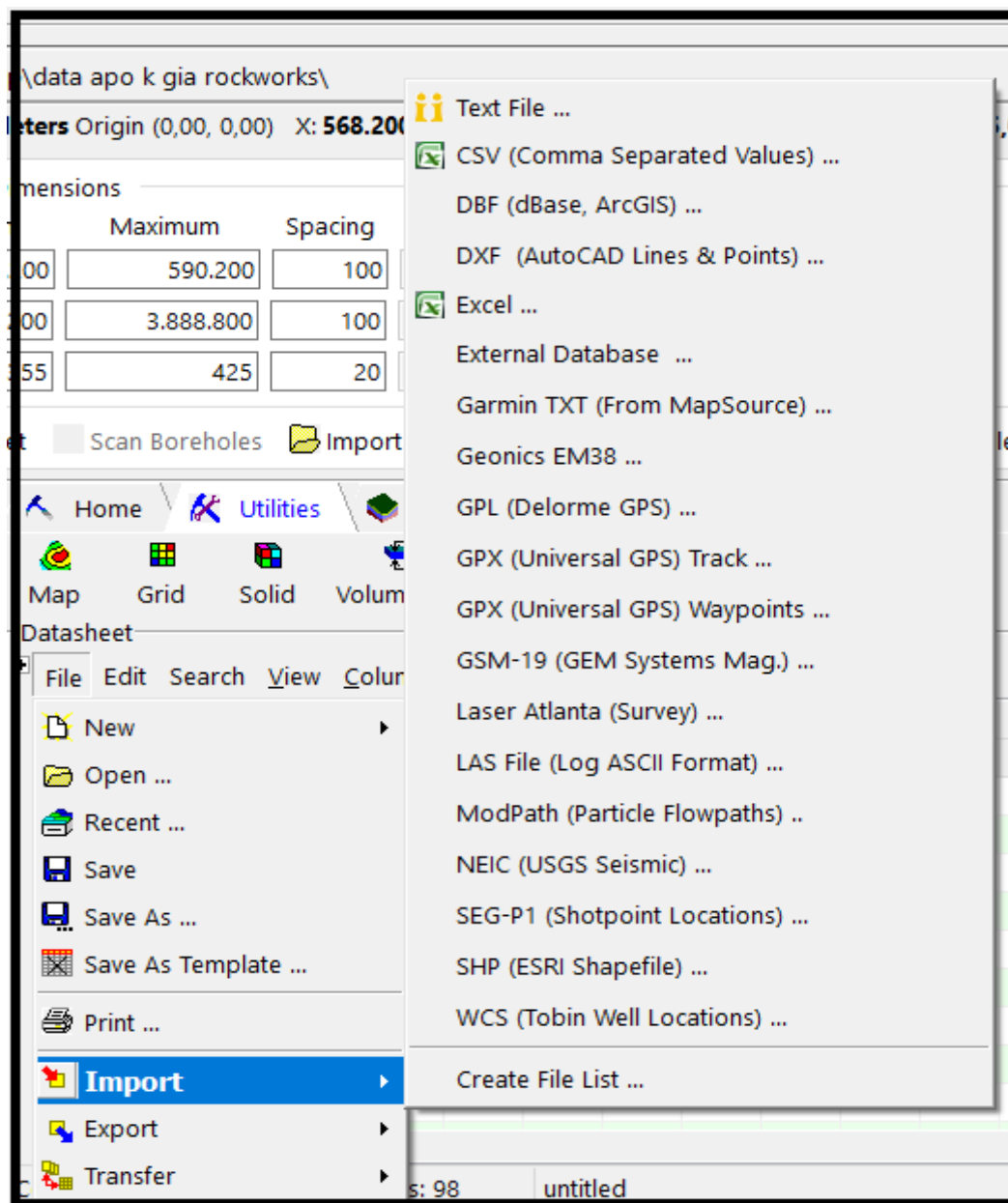
Για την κατασκευή στερεοδιαγραμμάτων

Γενικά, τα δεδομένα που εισάγονται αφορούν δεδομένα βάθους και όχι γεωτρητικά δεδομένου ότι αυτά εισάγονται στην υποσελίδα *Borehole Manager*. Τα δεδομένα DTM που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική αξιοποιήθηκαν κατά την απεικόνιση λιθολογικών και λιθοστρωματογραφικών μοντέλων απεικόνισης παρέχοντας πιο αξιόπιστα μοντέλα.

### **Π.3.1.Δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας**

Για τη δημιουργία τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας απαιτείται η εισαγωγή τοπογραφικών δεδομένων *x*, *y*, *z*. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής τέτοιων δεδομένων από αρχεία *XLS*, *Text File*, *DBF* κ.α.

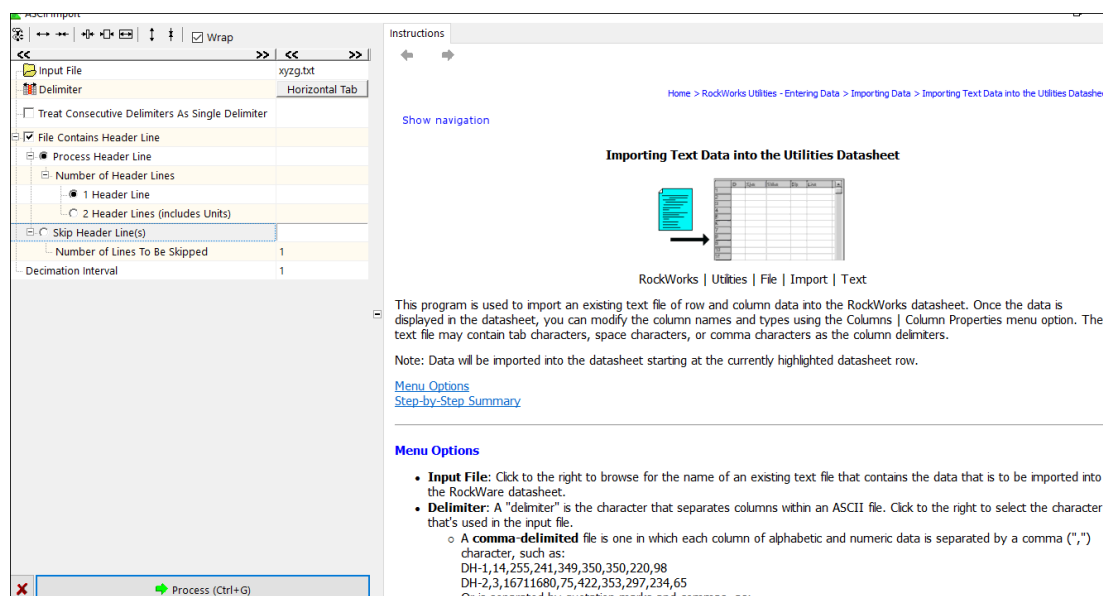
Έτσι, για την εισαγωγή των τοπογραφικών δεδομένων έχοντας ανοιχτή την υποσελίδα *Utilities* επιλέγεται στο κεντρικό *menu* η εντολή *File* και στη συνέχεια το *Import* και έπειτα το *Text File* (Επιλογή Π.3).



Εικόνα Π.3: Επιλογή αρχείου Text File

Στην συνέχεια, ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο, στην αριστερή πλευρά του οποίου υπάρχουν οι παρακάτω εντολές:

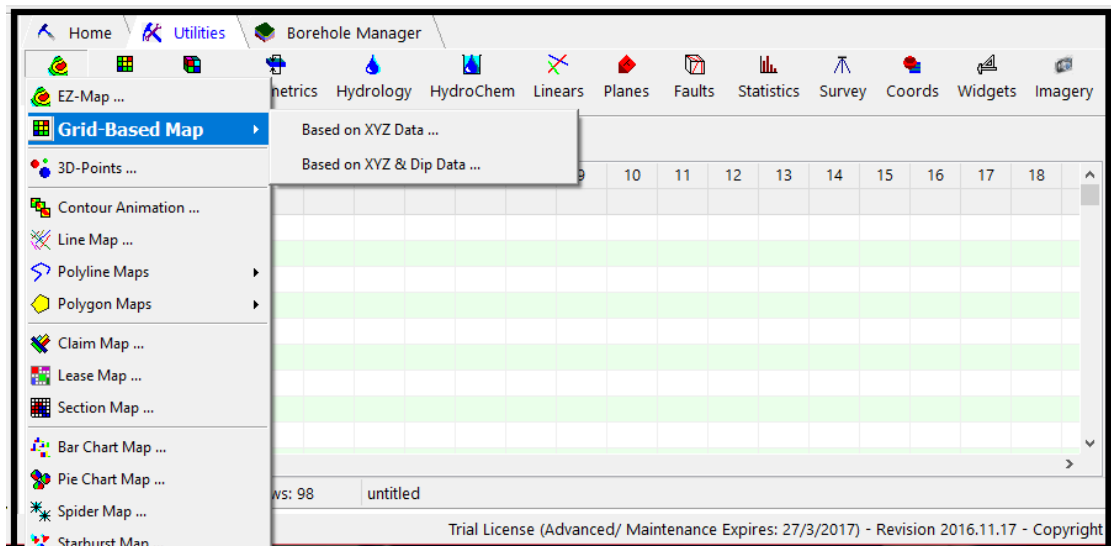
- Input File, όπου γίνεται αναζήτηση του αρχείου που ενδιαφέρει το χρήστη (Εικόνα Π.4).
- Delimiter, με την εντολή αυτή καθορίζεται το σύμβολο που διαχωρίζει τα νούμερα του αρχείου Text File. Πατώντας το παρουσιάζονται οι δυνατότητες επιλογής. Εφόσον, το Text File αρχείο περιέχει κεφαλίδες για κάθε κατηγορία δεδομένων, τότε γίνεται έλεγχος για την αντίστοιχη επιλογή (Εικόνα 2).



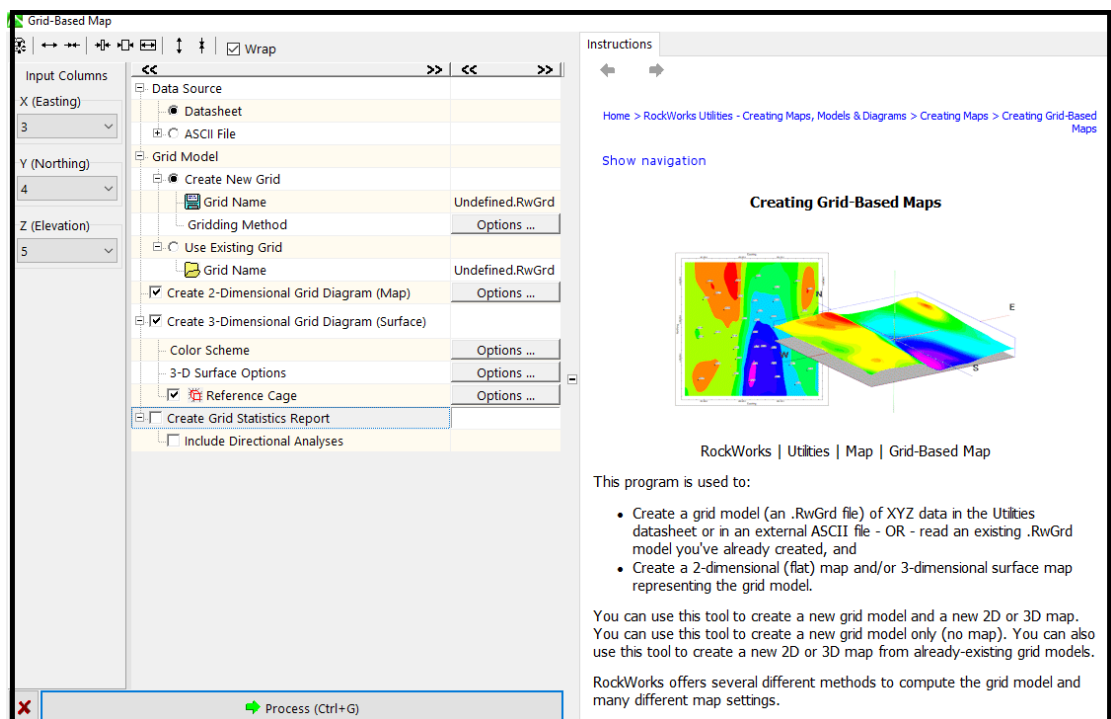
Εικόνα Π.4: Εντολές Input File και Delimiter

Τέλος, έχοντας ήδη γίνει οι ρυθμίσεις και πατώντας Process εισάγονται οι συντεταγμένες.

Στη συνέχεια για τη δημιουργία του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου ή και δισδιάστατου χάρτη επιλέγεται από το βασικό menu Map το Grid-Based Map. Με αυτή την εντολή δίνεται η δυνατότητα επιλογής Based XYZ Data ή Based XYZ & Dip Data (Εικόνα Π.5). Επιλέγοντας την πρώτη επιλογή ανοίγεται καινούργιο παράθυρο για να καθοριστούν οι παράμετροι του χάρτη.



Εικόνα Π.5: Εντολή Map και επιλογές



Εικόνα Π.6: Εντολή Grid Based Map και οι επιλογές ρύθμισης της

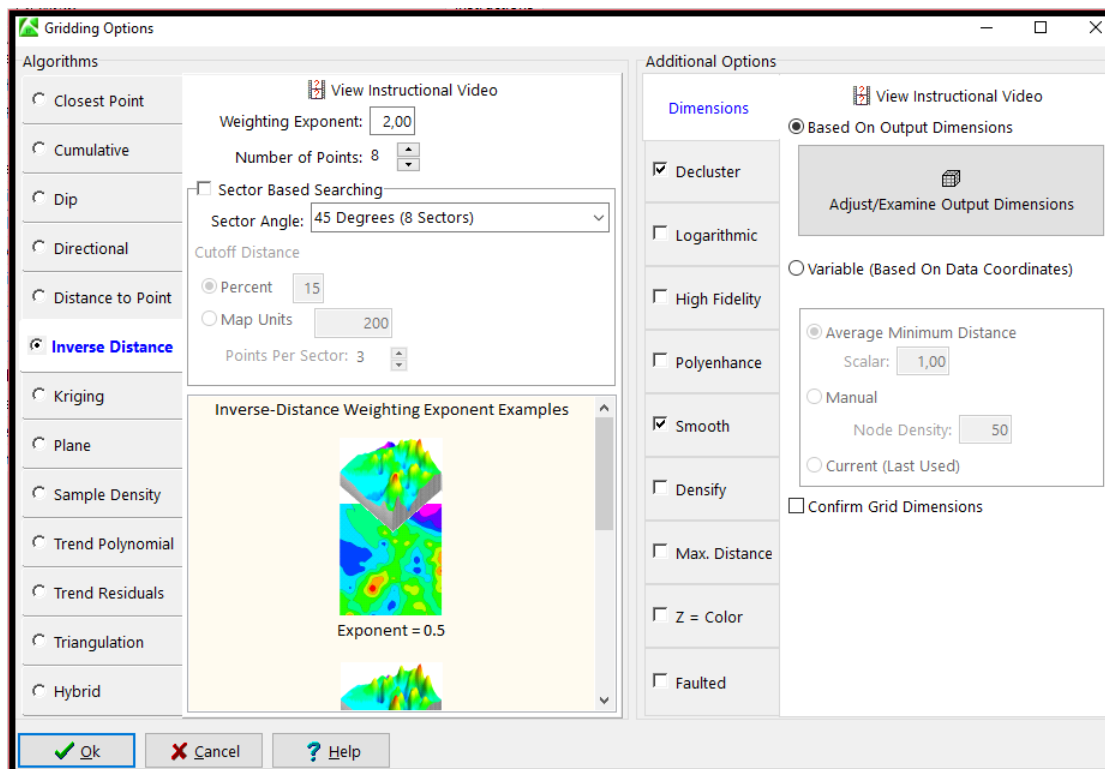
Στο καινούργιο παράθυρο που ανοίγεται και στην αριστερή του πλευρά υπάρχουν οι παρακάτω επιλογές (Εικόνα Π.6):

- Data Source, σε αυτή την επιλογή επιλέγεται το Datasheet αφού έχουν εισαχθεί δεδομένα στην υποσελίδα Utilities ή σε αντίθετη περίπτωση



επιλέγεται εξωτερικό αρχείο δεδομένων. Στην περίπτωση που τα δεδομένα βρίσκονται σε Datasheet τότε είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι στήλες που περιέχουν τα x, y, z δεδομένα.

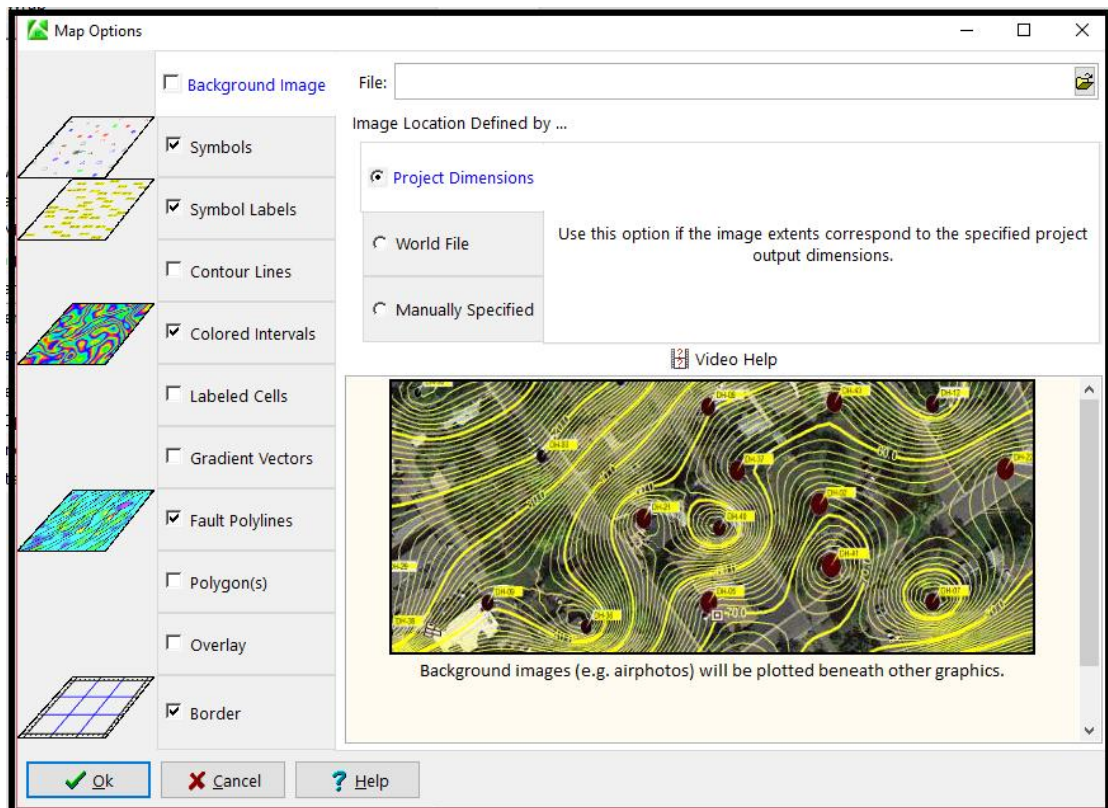
- Create New Grid, σκοπός της επιλογής αυτής είναι η δημιουργία ενός νέου μοντέλου πλέγματος.
- Grid Name, σε αυτό το πεδίο δίνεται το επιθυμητό όνομα στο μοντέλο καθώς και επιλέγεται σε ποιο φάκελο θα αποθηκευτεί αυτό. Τα αρχεία πλέγματος έχουν κατάληξη .grd .



Εικόνα Π.7: Επιλογή Gridding Options

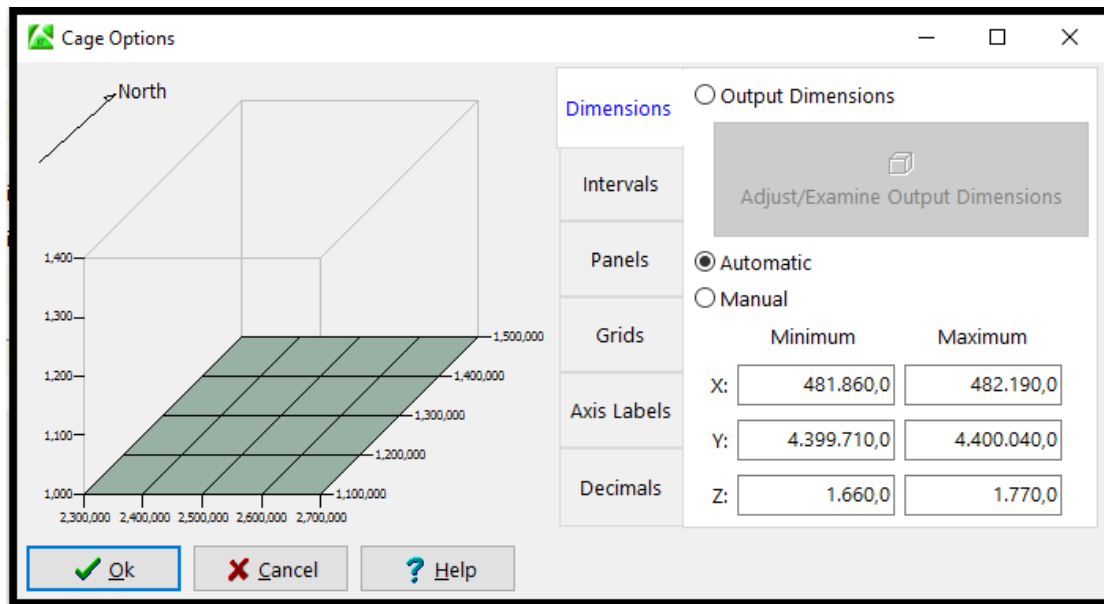
- Gridding Method, επιλέγοντας το Options ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο επιλογών. Εδώ επιλέγεται, στην κατηγορία Algorithms, ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί για την παρεμβολή. Επιλέγεται η μέθοδος τριγωνισμού και παρακάτω αναφέρονται οι επιπλέον επιλογές του συγκεκριμένου αλγορίθμου (Εικόνα Π.7).

- Interpolate Edge Points / No Edge \interpolation, για την επιλογή ή όχι του αυτόματου υπολογισμού των οριακών σημείων του μοντέλου στα οποία δεν υπάρχουν τιμές.
- Dimensions, εδώ γίνεται ο προσδιορισμός των διαστάσεων. Έτσι, επιλέγεται Based On Project Dimensions ούτως ώστε να βασίζεται στις διαστάσεις που ορίστηκαν από το πεδίο Project Dimensions.
- Additional Options, επιλέγεται το Decluster το οποίο χρησιμοποιείται εάν υπάρχουν συγκεντρωμένα ή διπλά σημεία. Πριν από την προσομοίωση το πρόγραμμα δημιουργεί ένα φανταστικό πλέγμα (pre-grid) πάνω από τα σημεία των δεδομένων.
- Resolution, εδώ γίνεται η ανάλυση του πλέγματος. Συμπληρώνεται ο αριθμός των κελιών του πλέγματος κατά τους δύο άξονες Ανατολή-Δύση και Βορρά-Νότο.
- Create Grid-2Dimensional Grid Diagram, επιλογή για κατασκευή δισδιάστατου χάρτη. Στην περίπτωση αυτή, επιλέγεται το 3-D Surface Option το οποίο ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο.
- Create Grid-3Dimensional Grid Diagram, δυνατότητα κατασκευής τρισδιάστατου χάρτη (Εικόνα Π.8).



Εικόνα Π.8: Επιλογές ρύθμισης για Create Grid- 3 Dimensional Grid Diagram

- Flat vs. Relief, όπου επιλέγεται το Relief προκειμένου η επιφάνεια να απεικονιστεί τρισδιάστατα.
- Colors, επιλέγεται η εντολή Continuous εάν το πλέγμα περιέχει ένα εύρος τιμών Z και θέλουμε να αναπαρασταθεί από ένα εύρος χρωμάτων. Αντίθετα, γίνεται η επιλογή του Boolean εάν το πλέγμα αναπαρίσταται από διάγραμμα Boolean “true/false” μοντέλο grd. Όπου, σε αυτά τα μοντέλα υπάρχουν δύο τιμές: 0 για false και 1 για true.
- Faulting, χρησιμεύει στην περίπτωση που υπάρχουν ρήγματα. Επιλέγεται έτσι ώστε να φαίνονται με Show Faulting ή να μην απεικονίζονται με την εντολή No Faults.
- Skirt, η επιλογή αυτή εμφανίζει ή όχι, στη βάση του τρισδιάστατου μοντέλου, μια περιβάλλουσα επιφάνεια.



Εικόνα Π.9: Επιλογή ρύθμισης Reference Cage

- Reference Cage, χρησιμεύει στο να σχεδιαστεί γύρω από το μοντέλο ένα κελί όπου θα αναφέρονται οι διευθύνσεις του ορίζοντα (Εικόνα Π.9).

Επίσης, στην εντολή αυτή μπορούν 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.

Τέλος, έχοντας γίνει οι ρυθμίσεις και πατώντας το Process από το κεντρικό menu Grid-Based Map, δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους.

Χρησιμοποιώντας την εντολή Import (βλέπε Εικόνα Π.10) ο χρήστης μπορεί να εξαγάγει τα δεδομένα που έχει βάλει στο πρόγραμμα ως ένα αρχείο excel. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός αρχείου excel στο οποίο θα είναι συγκεντρωμένα όλα τα δεδομένα που έχει προσθέσει ο χρήστης και γενικά, όλη η δουλειά που έχει κάνει στο project που έχει δημιουργήσει.

## **Π.4.Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων με το λογισμικό**

### **Rockworks 17**

Το Rockworks 17 παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας δισδιάστατων ή τρισδιάστατων μοντέλων χρησιμοποιώντας γεωλογικά δεδομένα. Επίσης, μπορεί να οπτικοποιήσει τα χωρικά δεδομένα, να δημιουργήσει τομές σε διάφορες κατευθύνσεις και μετρήσεις διάφορων μεγεθών όπως είναι ο όγκος. Έτσι, με βάση αυτά που έχουν ήδη αναφερθεί το λογισμικό αυτό αποτελείται από δύο κύρια παράθυρα, το Utilities και το Borehole Manager.

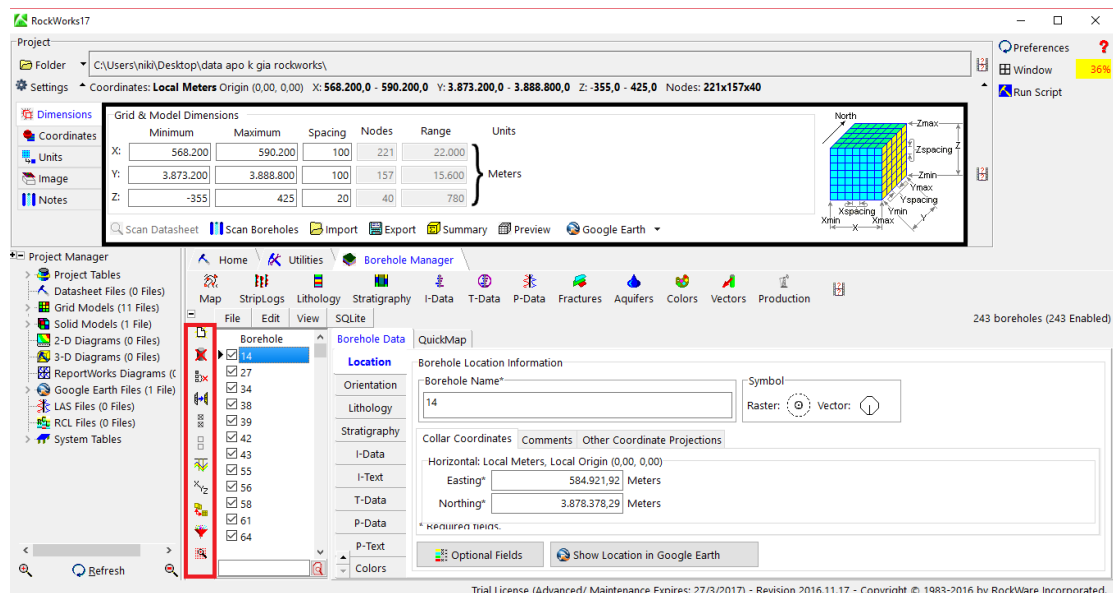
Για να ξεκινήσει μια νέα μελέτη ως πρώτο βήμα θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας κενός φάκελος, ο « project folder». Σκοπός της δημιουργίας του φακέλου αυτού είναι η προσθήκη σε αυτόν αρχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την επεξεργασία καθώς και εκείνα που προκύπτουν από την επεξεργασία. Τα αρχεία αυτά ανάλογα κάθε φορά μπορεί να προστίθενται αυτόματα ή από το χρήστη. Έτσι, ανοίγοντας το κύριο menu Folder και έπειτα Create New Project δημιουργείται ο φάκελος αυτός. Καθορίζοντας το όνομα του φακέλου στο παράθυρο που εμφανίζεται και πατώντας το Next ανοίγεται ένα νέο παράθυρο όπου παρέχεται η δυνατότητα καθορισμού του συστήματος αναφοράς των συντεταγμένων για την παρούσα μελέτη. Τέλος, πατώντας το Finish και στη συνέχεια το Yes δημιουργείται ο φάκελος.

## **Π.5. Καθορισμός διαστάσεων περιοχής μελέτης-το πεδίο Grid and Model Dimensions**

Στο παράθυρο Dimensions εμφανίζεται το πεδίο Grid and Model Dimensions στο οποίο καθορίζονται οι διαστάσεις της περιοχής μελέτης συμπληρώνοντας τους άξονες X, Y και Z. Στην παρούσα μελέτη οι άξονες αυτοί συμπληρώνονται ως εξής:

- X- Easting
- Y- Northing
- Z- Elevation

Εάν το πεδίο αυτό συμπληρωθεί κατά την εισαγωγή των δεδομένων, δεν χρειάζεται να συμπληρωθεί εκ νέου. Καλό θα ήταν για την συμπλήρωση των πιο πάνω αξόνων να λαμβάνονται υπόψη οι μεγαλύτερες τιμές του κάθε άξονα των δεδομένων. Έτσι, βλέποντας τις μικρότερες και τις μεγαλύτερες τιμές συμπληρώνονται οι άξονες με μια τιμή ελαφρώς μεγαλύτερη από τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές των δεδομένων. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία ενός μοντέλου μελέτης το οποίο θα έχει κάποιο μικρό περιθώριο σε όλους τους άξονες ως προς τα δεδομένα. Επιπλέον, από το Spacing καθορίζεται το διάστημα όπου θα τοποθετείται ο κάθε κάρναβος του μοντέλου μελέτης. Στην Εικόνα Π.10, παρουσιάζεται σε μαύρο πλαίσιο η εντολή Grid Model Dimensions.



Εικόνα Π.10: Grid Model Dimensions και βοηθητική στήλη εργαλείων

Το μοντέλο μελέτης μπορεί να απεικονιστεί μαζί με εικόνα (Εικόνα Π.10), η οποία μπορεί να είναι ένας χάρτης της περιοχής ενδιαφέροντος.

## **Π.6. Η υποσελίδα Borehole Manager**

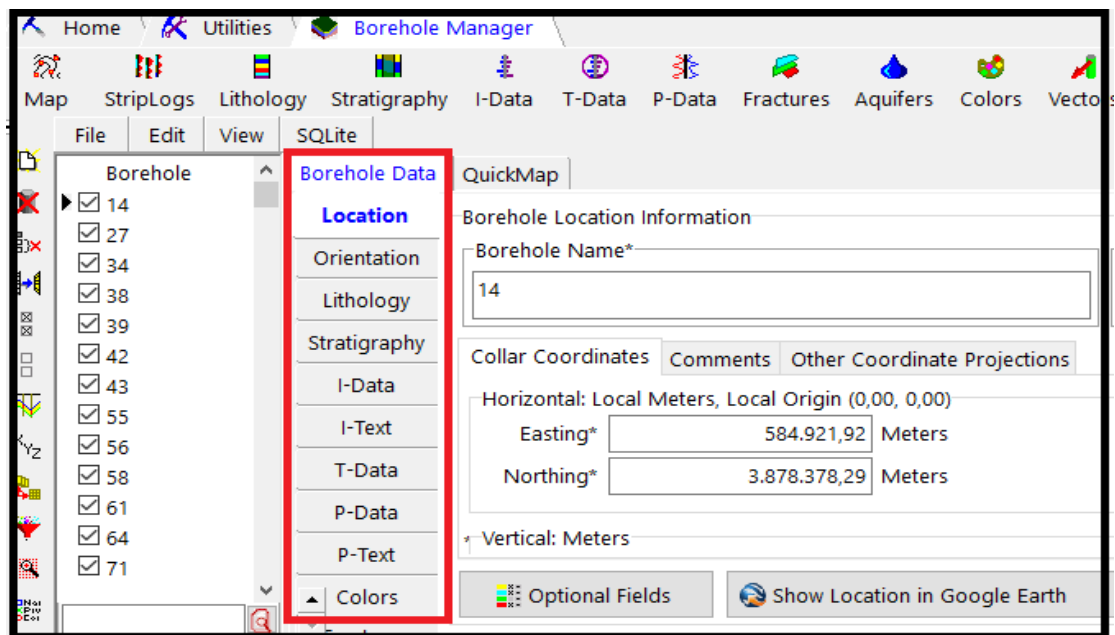
Στην υποσελίδα αυτή εισάγονται τα δεδομένα γεωτρήσεων ή οποιοδήποτε δεδομένο σχετίζεται με το βάθος. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής των δεδομένων με πληκτρολόγηση τους από το χρήστη ή από αρχείο excel με συγκεκριμένο format κατάλληλο για το Rockworks.

Στη συγκεκριμένη μελέτη έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα δεδομένα γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων, τα οποία έχουν εισαχθεί και με τους δύο τρόπους ανάλογα με την μορφή που υπήρχαν τα δεδομένα.

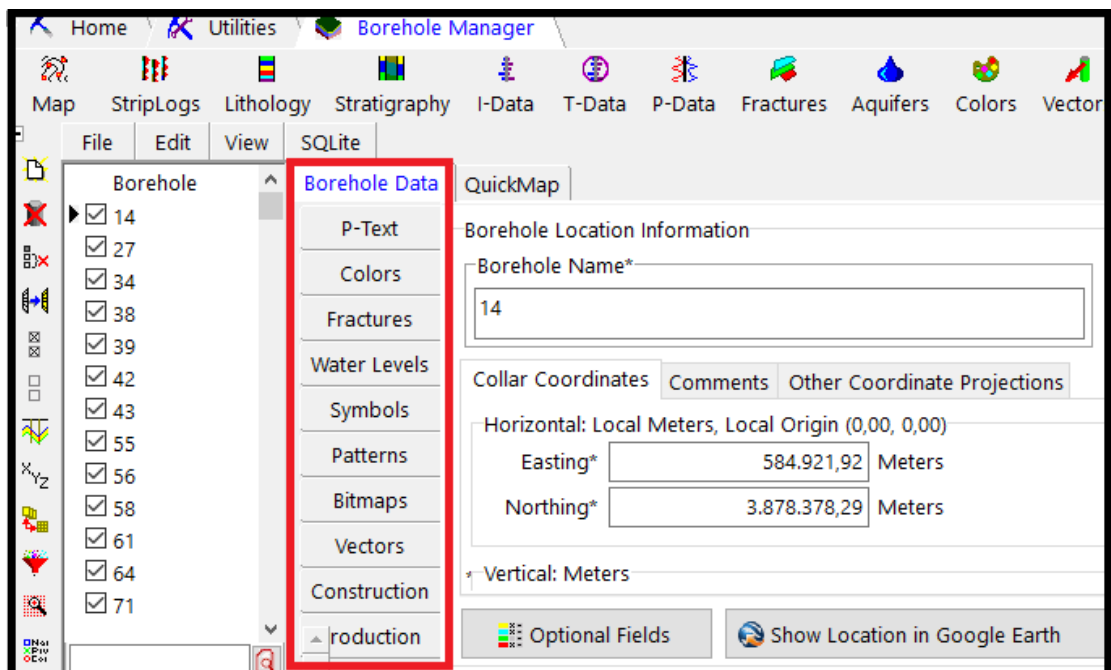
Από τις πιο κάτω καρτέλες η μόνη που είναι υποχρεωτική η συμπλήρωση της είναι η καρτέλα Location. Ανάλογα με τα δεδομένα που έχει ο χρήστης και το σκοπό της μελέτης συμπληρώνονται και οι απαραίτητες καρτέλες.

Στην Εικόνα Π.11 , παρουσιάζεται σε κόκκινο πλαίσιο η βοηθητική στήλη εντολών του Borehole Manager. Όπου, στη βοηθητική στήλη περιέχονται οι παρακάτω εντολές:

1. Δημιουργία νέας γεώτρησης
2. Διαγραφή τρέχουσας γεώτρησης
3. Απενεργοποίηση όλων των γεωτρήσεων
4. Δημιουργία αντιγράφου
5. Ενεργοποίηση όλων των γεωτρήσεων
6. Διαχείριση των τύπων δεδομένων (εμφάνιση/απόκρυψη τύπων)
7. Υπολογισμός όλων των X, Y, Z
8. Υπολογισμός των X, Y, Z
9. Επεξεργασία της βάσης δεδομένων σε φύλλο δεδομένων τύπου Excel
10. Δυνατότητα φιλτραρίσματος των γεωτρήσεων
11. Απεικόνιση επιλεγμένων γεωτρήσεων/βυθοσκοπήσεων



Εικόνα Π.11: Πεδία που διατίθενται στο Borehole Manager- Borehole Data



Εικόνα Π.12: Πεδία που διατίθενται στο Borehole Manager- Borehole Data

### Π.6.1.Εντολή Borehole Data

Στις παραπάνω εικόνες (Εικόνα Π.11 και Εικόνα Π.12) παρουσιάζονται τα πεδία στα οποία συμπληρώνονται τα δεδομένα που έχει ο χρήστης για την ομάδα Borehole Data. Στη συνέχεια αναλύεται το κάθε πεδίο.



### Π.6.1.1.Πεδίο Orientation

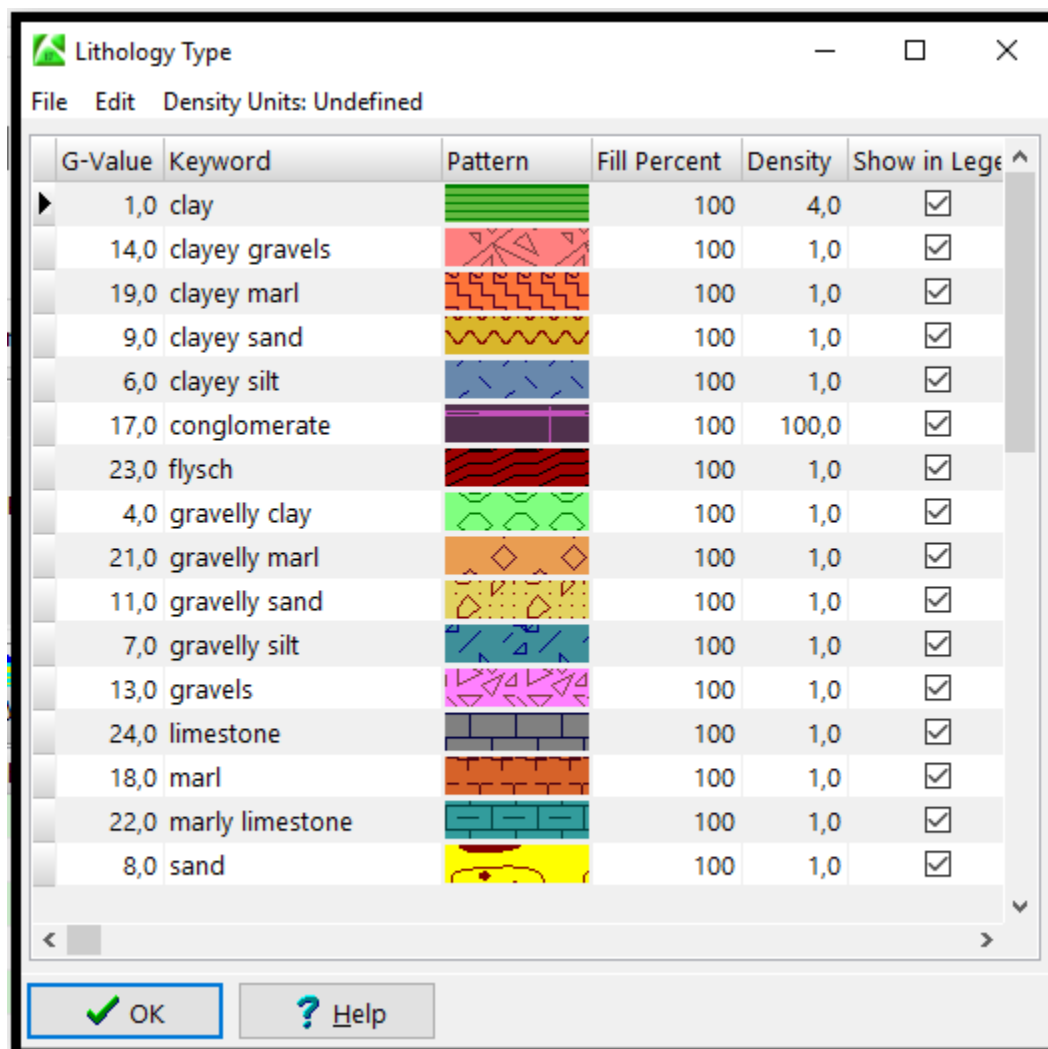
Εισάγεται το αζιμούθιο και η κλίση κατά αντιστοιχία με το βάθος κάθε γεώτρησης.

Αν η γεώτρηση είναι κατακόρυφη το πεδίο μένει κενό.

### Π.6.1.2.Πεδίο Lithology

Εισάγονται τα λιθολογικά δεδομένα κάθε γεώτρησης, τα οποία στην ουσία είναι οι παρατηρούμενοι λιθολογικοί σχηματισμοί και τα αντίστοιχα βάθη. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί γίνονται αναγνωρίσιμοι από το λογισμικό αφού αρχικά οριστούν στον αντίστοιχο πίνακα, με την εντολή Lithology Types (Εικόνα Π. 13).

Κάθε σειρά του πίνακα αφορά έναν λιθολογικό σχηματισμό και αποτελείται από 6 στήλες



Εικόνα Π.13: Lithology Types

- **Keyword**

Όνομα σχηματισμού.

- **Pattern**

Συμβολισμός (ή μοτίβο) σχηματισμού. Έτσι, με κλικ στο αντίστοιχο κελί του πίνακα, εμφανίζεται νέο παράθυρο όπου επιλέγεται ο επιθυμητός συμβολισμός και ρυθμίζεται η πυκνότητά του (Density – κόκκινο πλαίσιο στην εικόνα), προτεινόμενη τιμή: 2-3. Σημειώνεται ότι πρέπει να γίνουν επιλογές ευδιάκριτων μοτίβων και χρωμάτων, ώστε οι σχηματισμοί να ξεχωρίζουν στα διαγράμματα απεικονίσεων που θα κατασκευαστούν.

- **Fill Percent**

Ποσοστό πλήρωσης εκάστοτε συμβολισμού ή μοτίβου (Pattern) στις απεικονίσεις των γεωτρητικών στηλών. Η πλήρωση αυτή γίνεται αυθαίρετα από τον χρήστη του λογισμικού για να επιτυγχάνεται ο καλύτερος διαχρισμός στρωμάτων.

- **Density**

Πολλαπλασιαστής πυκνότητας λιθολογικών μοντέλων: χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του όγκου ή της μάζας των μοντέλων (αν ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται, εισάγεται τυχαία τιμή, π.χ. 1, χωρίς να επηρεάζει άλλες επιλογές).

- **G-Value**

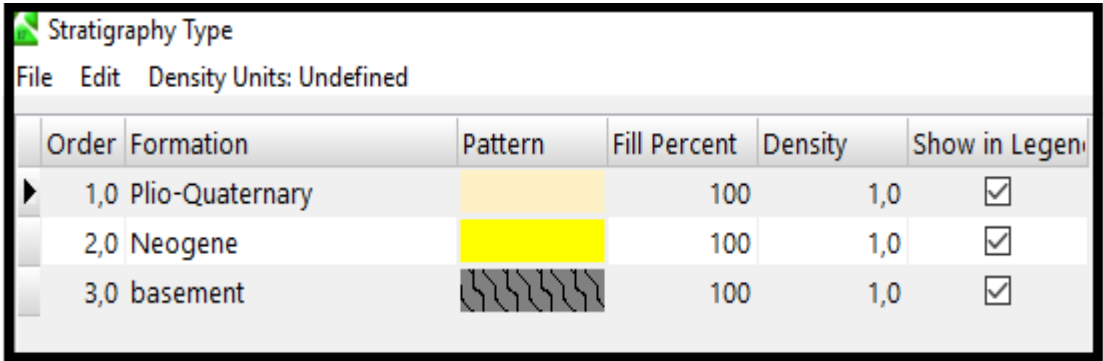
Αντιπροσωπευτική αριθμητική τιμή κάθε λιθολογικού σχηματισμού: εισάγεται ένας θετικός ακέραιος αριθμός που αντιστοιχεί σε μόνο ένα σχηματισμό και δεν επαναλαμβάνεται. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων και την κατασκευή των μοντέλων και των χαρτών, το λογισμικό αναγνωρίζει και ανακαλεί τις τιμές G και όχι τα ονόματα (Keywords) των σχηματισμών. Προτείνεται η τιμή G για τον πρώτο σχηματισμό του πίνακα να είναι '1' και να προστίθεται ο ακέραιος 1 για κάθε επόμενο που καταχωρείται.

- **Show in Legend**

Καθορίζεται ποιοι από τους σχηματισμούς θα εμφανίζονται στα υπομνήματα των μοντέλων και των διαγραμμάτων επιλέγοντας τους στη συγκεκριμένη στήλη. Η λειτουργία είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις που έχουν οριστεί στον λιθολογικό πίνακα πολλοί σχηματισμοί, ενώ δεν εμπεριέχονται όλοι σε μερικές εκ των απεικονίσεων.

### Π.6.1.3.Πεδίο Stratigraphy

Εισάγονται τα (λιθο)στρωματογραφικά δεδομένα κάθε γεώτρησης, αφού αρχικά οριστούν οι (λιθο)στρωματογραφικές ενότητες (Εικόνα Π.14).



Order	Formation	Pattern	Fill Percent	Density	Show in Legend
1,0	Plio-Quaternary	[Yellow Pattern]	100	1,0	<input checked="" type="checkbox"/>
2,0	Neogene	[Solid Yellow]	100	1,0	<input checked="" type="checkbox"/>
3,0	basement	[Diagonal Lines]	100	1,0	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα Π.14: Στρωματογραφικά στρώματα όπως καθορίστηκαν στο πρόγραμμα

Οι (λιθο)στρωματογραφικές ενότητες ορίζονται όπως και οι λιθολογικοί σχηματισμοί με τη μόνη διαφοροποίηση να παρατηρείται στη στήλη Order (Εικόνα Π.5) του (λιθο)στρωματογραφικού πίνακα. Σε αντίθεση με την αντίστοιχη στήλη G-Value, όπου η σειρά των λιθολογικών σχηματισμών μπορεί να είναι τυχαία, η στήλη Order εκτός από την αντιπροσωπευτική τιμή της κάθε (λιθο)στρωματογραφικής ενότητας, καθορίζει και τη σειρά εμφάνισης της από την επιφάνεια του εδάφους και κάτω. Προτείνεται η τιμή 1 για την πιο κοντινή στο έδαφος και διαδοχική αρίθμηση για τις επόμενες προς τα κάτω.

Με βάση την λιθολογία κάθε γεώτρησης έγινε η (λιθο)στρωματογραφική ανάλυση της κάθε γεώτρησης και βυθοσκόπησης. Οι (λιθο)στρωματογραφικοί τύποι είναι

τρεις (3) και διαχωρίζουν τα πετρώματα όπου εκτιμάται ότι δημιουργήθηκαν στο Πλειο-Τεταρτογενές (Plio- Quaternary) και στο Νεογενές (Neogene). Ο τρίτος τύπος μας δείχνει το υπόβαθρο της περιοχής (basement) που συνήθως είναι ασβεστόλιθος (limestone) είτε φλύσχης (flysch). Μελετώντας την λιθολογία της λεκάνης της Μεσσαράς και ξεκινώντας από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι να συναντήσουμε αργιλώδη πετρώματα (clay, silty clay, gravelly clay κτλ.), σε ικανοποιητικό βάθος (άνω των 20 μέτρων) ή μάργα αντιστοιχίζουμε το κάθε βάθος με το Πλειο-Τεταρτογενές (Plio- Quaternary). Από εκείνο το σημείο που σταματάνε τα αργιλώδη πετρώματα ή μάργα σταματάει το Πλειο-Τεταρτογενές και ξεκινάει το Νεογενές (Neogene). Το υπόβαθρο (basement) είναι ο Ασβεστόλιθος και ο Φλύσχης.

#### **Π.6.1.4.Πεδίο I-Data (Intervals)**

Εισάγονται ποσοτικά δεδομένα, όπως π.χ. γεωχημικές ή γεωτεχνικές μετρήσεις, σεισμικές μετρήσεις κ.α., για διάφορα βάθη στην γεώτρηση ή στην βυθοσκοπήση. Στην παρούσα εργασία το συγκεκριμένο πεδίο χρησιμοποιήθηκε μόνο στις βυθοσκοπήσεις. Στην εντολή I-Data Types αρχικά ορίζεται η μετρούμενη ιδιότητα που είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων (Resistivity).

**Σημείωση :** Με βάση τις βυθοσκοπήσεις εκτιμήσαμε σε ποιοό βάθος συναντάμε το υπόβαθρο. Έγινε έλεγχος σε μεγάλα βάθη (όχι κοντά στην επιφάνεια) αν παρουσιάζεται μεγάλη τιμή (π.χ.150,200,300 Ohm) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Όταν σε μεγάλα βάθη συναντάμε τέτοιες τιμές υποδεικνύεται ότι ίσως και να υπάρχει υπόβαθρο. Σε βάθη κοντά στην επιφάνεια (0-50 μέτρα περίπου), αν εμφανιστούν μεγάλες τιμές αντίστασης, οι βυθοσκοπήσεις αυτές απορρίπτονται. Οι τιμές αυτές εμφανίζονται σε ορισμένες βυθοσκοπήσεις λόγω διάφορων σφαλμάτων στις έτοιμες μετρήσεις που έχουμε λάβει. (Από παράρτημα Διπλωματικής Βάιου Μορέλα)

#### **Π.6.1.5.Πεδίο I-Text (Interval Text)**

Σε αυτό το πεδίο εισάγονται μη-αριθμητικά δεδομένα που αντιστοιχούν σε διαστήματα βάθους, τα οποία μπορεί να αφορούν χρωματικές περιγραφές, ταυτότητες δειγμάτων κ.α.

#### **Π.6.1.6.Πεδίο T-Data (Time Intervals)**

Εδώ επιτρέπεται η εισαγωγή δεδομένων, τα οποία θα διαφοροποιούνται με την πάροδο του χρόνου.

#### **Π.6.1.7.Πεδίο P-Data (Points)**

Εισαγωγή αριθμητικών δεδομένων, όπως π.χ. γεωφυσικές μετρήσεις.

#### **Π.6.1.8.Πεδίο P-Text (Point Text)**

Εισάγονται μη-αριθμητικά δεδομένα που αντιστοιχούν σε σημεία της γεώτρησης και αφορούν σχόλια, αρίθμηση δειγμάτων κ.α.

#### **Π.6.1.9.Πεδίο Fractures**

Εισάγονται δεδομένα ρηγμάτων, όπως βάθος, κλίση, διεύθυνση, μέγεθος κ.α.

#### **Π.6.1.10.Πεδίο Water Levels**

Εισάγονται δεδομένα όπως είναι ημερομηνίες των μετρήσεων, βάθη και σχόλια των παρατηρούμενων υδροφόρων οριζόντων εντός των γεωτρήσεων.

#### **Π.6.1.11.Πεδία Symbols, Patterns, Bitmaps**

Επιλογή των παρακάτω:

- Σύμβολα
- Μοτίβα
- Εικόνες

Τα οποία βοηθούν την αναπαράσταση των γεωτρήσεων.

#### **Π.6.1.12.Πεδίο Vectors**

Εισάγονται διανυσματικά δεδομένα, όπως ροή υπόγειων υδάτων κ.α.

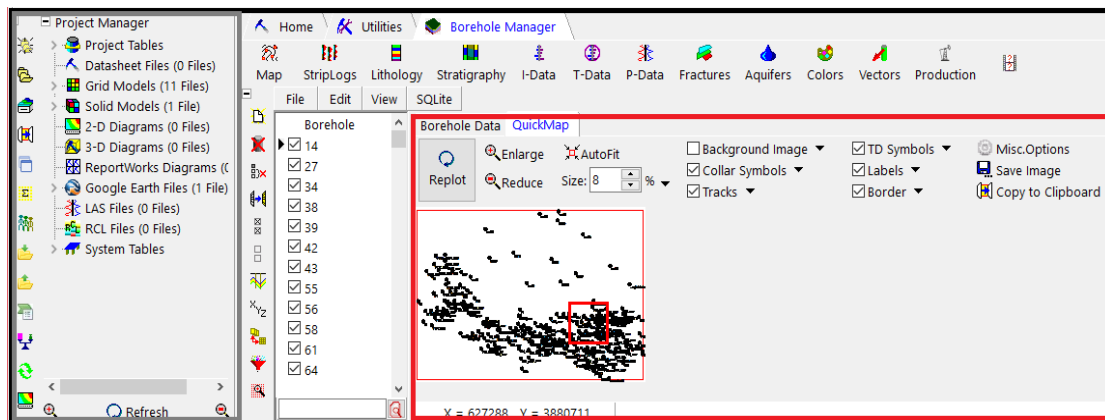
#### **Π.6.1.13.Πεδίο Well Construction**

Ορίζονται τα υλικά κατασκευής και υποστήριξης της γεώτρησης σε συγκεκριμένα βάθη και διαμέτρους.

### Π.6.2.Εντολή QuickMap

Η εντολή αυτή χρησιμεύει στην παρουσίαση ενός συγκεντρωτικού χάρτη των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων της μελέτης. Επίσης, στο χάρτη αυτό προσδιορίζεται και η περιοχή που βρίσκεται η κάθε γεώτρηση (βλέπε Εικόνα Π.15-κόκκινο περίγραμμα).

Επιπλέον, στο αριστερό μέρος του παραθύρου που απεικονίζεται στην Εικόνα Π.15 (γκρι περίγραμμα) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα διαγράμματα ή μοντέλα που έχουν αποθηκευτεί στο λογισμικό από το χρήστη για την παρούσα μελέτη με την εντολή Project Manager.

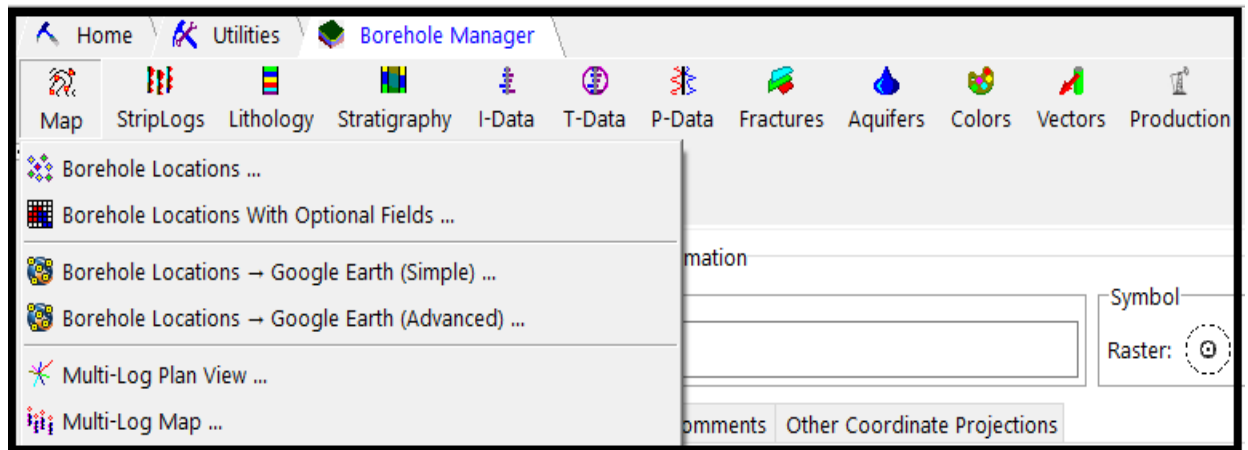


Εικόνα Π.15: Εντολή QuickMap και Project Manager

### Π.7. Το κύριο menu Map

Το menu αυτό, το οποίο φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα Π.16, δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός χάρτη όπου προβάλλονται οι γεωτρήσεις βάση των θέσεων τους. Επιπλέον, στο χάρτη αυτό μπορούν να γίνουν αρκετές προβολές, κάποιες από αυτές είναι οι εξής:

- Αερογραφίας
- Ενός τοπογραφικού χάρτη
- Ισοϋψών καμπύλων



Εικόνα Π.16: Κύριο menu Borehole Manager και η εντολή Map

### Π.7.1.Borehole Location

Από το menu Map η πρώτη εντολή που υπάρχει είναι το Borehole Location (Εικόνα Π.16) το οποίο επιλέγοντας το ανοίγει ένα νέο παράθυρο ρυθμίσεων. Στο παράθυρο αυτό, η επιλογή Borehole Symbol + Label Options υπάρχει το υπό-menu στο οποίο καθορίζεται η εμφάνιση αλλά και ο συμβολισμός των γεωτρήσεων στο χάρτη. Επίσης, στο συγκεκριμένο υπό-menu γίνονται και ρυθμίσεις ως προς το πλαίσιο που περιβάλλει το χάρτη. Το πλαίσιο αυτό σχετίζεται με την λεζάντα του χάρτη, τις διαστάσεις του κ.α.

Τέλος, μετά την διαμόρφωση των πιο πάνω πατώντας το Process δημιουργείται ο χάρτης των γεωτρήσεων.

### Π.8. Το κύριο menu Striplogs

Το menu αυτό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να απεικονίσει είτε δισδιάστατα είτε τρισδιάστατα τη λιθολογία και τη στρωματογραφία των γεωτρήσεων. Η απεικόνιση μπορεί να αφορά μια ή πολλές γεωτρήσεις. Επίσης, μπορεί να δημιουργήσει προφίλ γεωτρήσεων που είναι τοποθετημένες σε μια ευθεία ή και τυχαία. Να σημειωθεί ότι το menu αυτό παρέχει και άλλες απεικονίσεις, οι οποίες δεν αφορούν την παρούσα μελέτη.

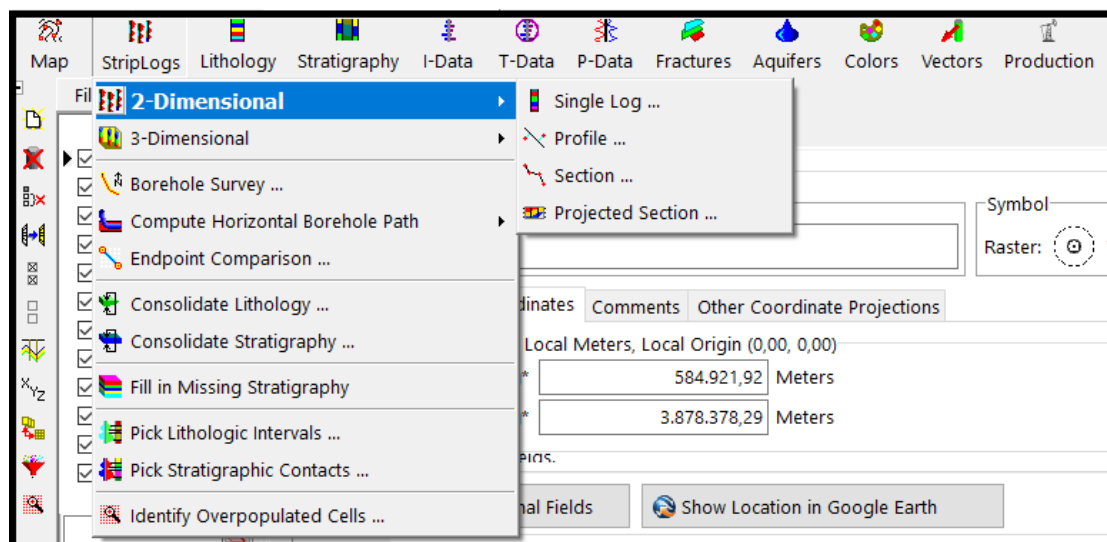
Η απεικονίσεις που έχουν αναφερθεί πιο πάνω, εκτός από την υποχρεωτική καρτέλα Location, απαιτούν την συμπλήρωση τουλάχιστον μιας από τις εξής προαιρετικές καρτέλες:

- Lithology
- Stratigraphy
- I-Data
- P-Data
- T-Data
- Aquifer

Οι επιλογές που παρέχονται από το κύριο menu Striplog για τα διάφορα είδη απεικόνισης αναλύονται παρακάτω.

### Π.8.1.2- Dimensional

Επιλέγοντας το 2-Dimensional παρέχονται οι παρακάτω επιλογές, όπως αυτές φαίνονται στην Εικόνα Π.17.



Εικόνα Π.17: Εντολή 2-Dimensional και οι επιλογές της εντολής αυτής



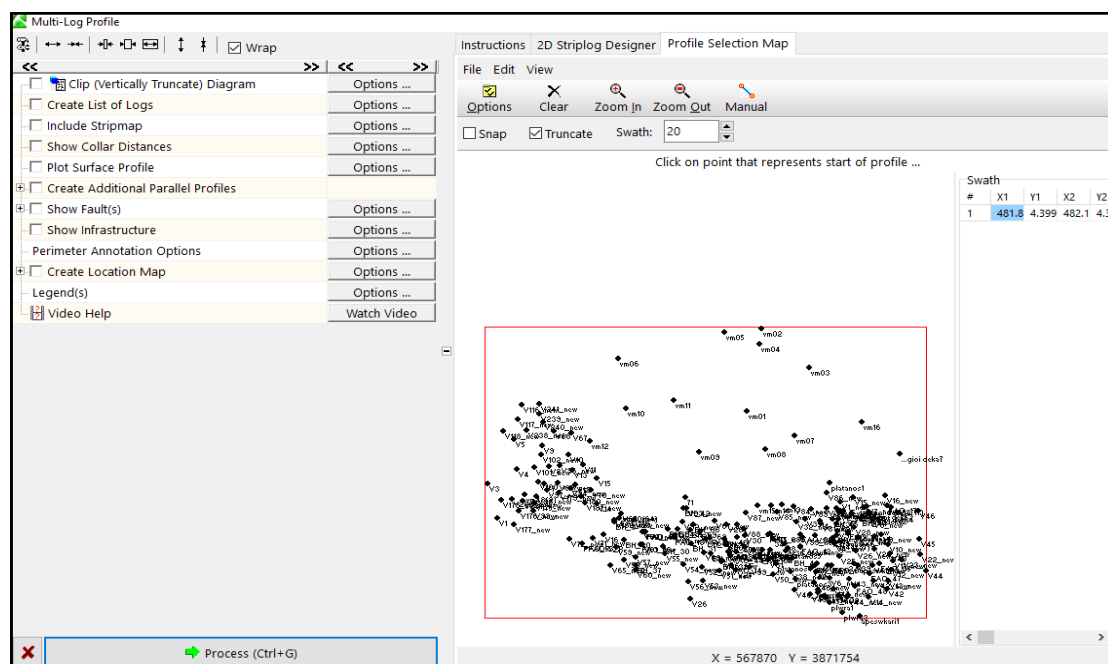
### Π.8.1.2.1.Single Log

Επιλέγοντας το Single Log ανοίγει ένα νέο παράθυρο στο οποίο υπάρχει το 2D Striplog Designer. Επιλέγοντας το ανοίγει μια καρτέλα ρυθμίσεων με τις παρακάτω επιλογές:

- Title και Depths, για τον τίτλο και τα βάθη της γεώτρησης
- Lithology ή Stratigraphy και Text, για την εμφάνιση της λιθολογίας ή στρωματογραφίας της κάθε γεώτρησης αλλά και άλλες επιμέρους επιλογές.
- Δεξιά υπάρχει μια προεπισκόπηση της επιλεγμένων γεώτρησης και κάτω από αυτή υπάρχουν επιπλέον ρυθμίσεις, όπως για παράδειγμα το μέγεθος και η γραμματοσειρά του τίτλου.

### Π.8.1.2.2.Profile

Με την εντολή αυτή δημιουργείται η απεικόνιση είτε της λιθολογίας είτε της στρωματογραφίας πολλαπλών γεωτρήσεων κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής. Η διεύθυνση της γραμμής αυτής καθορίζεται από τον ίδιο το χρήστη με βάση την περιοχή μελέτης. Έτσι, η απεικόνιση αυτή περιέχει τις γεωτρήσεις από τις οποίες περνά η γραμμή αυτή. Επίσης, εάν ο χρήστης το επιθυμεί μπορεί να μεταβάλλει το πλάτος της γραμμής.



Εικόνα Π.18: Επιλογές ρυθμίσεων για την δημιουργία Profile

Στην αριστερή πλευρά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα Π.18, εμφανίζονται οι παρακάτω εντολές:

- Plot Surface Profile, η εντολή αυτή σχεδιάζει στο προφίλ μια γραμμή που αντιπροσωπεύει την τοπογραφία επί της γραμμής που έχει οριστεί να γίνει το προφίλ. Η μορφή της γραμμής αυτής εξαρτάται από το αρχείο που έχει εισαχθεί στο πεδίο Grid Model. Αυτό το αρχείο .grd θα πρέπει ήδη να έχει δημιουργηθεί και να υπάρχει σε φάκελο του project.
- Perimeter Annotation Options, εδώ υπάρχουν επιλογές όσον αφορά το τίτλο στο profile, τους κατακόρυφους άξονες υψομέτρων, το εύρος που θα έχει το υψόμετρο και τέλος, αν αυτό θα καθοριστεί είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα από το χρήστη.
- Create Location Map, με αυτή την εντολή δημιουργείται ένας χάρτης της περιοχής, που συνάπτεται του profile, ο οποίος θα έχει την ευθεία γραμμή μελέτης καθώς και το εύρος της. Επιπλέον, επιλέγεται αν θα εμφανίζεται ή όχι η διεύθυνση των γεωτρήσεων.

Στο δεξί μέρος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα, εμφανίζονται τα παρακάτω παράθυρα:

- Το παράθυρο Instructions, όπου στο παράθυρο αυτό δημιουργείται το προφίλ στο οποίο θα περιλαμβάνεται η γραμμή που έχει καθοριστεί από το χρήστη μαζί με τις γεωτρήσεις από τις οποίες περνά η γραμμή αυτή.
- Το παράθυρο 2D Designer, το οποίο έχει αναλυθεί πιο πάνω.
- Το παράθυρο 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.

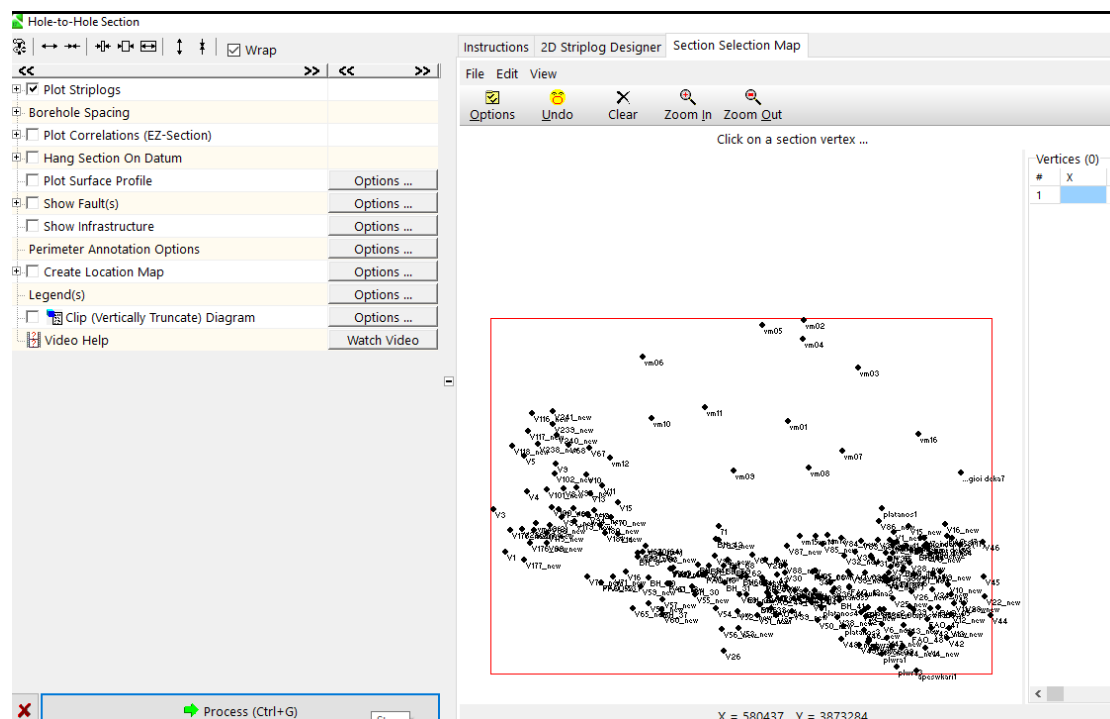
#### **Π.8.1.2.3.Section**

Στην περίπτωση που η μελέτη δεν ικανοποιείται από το profile της προηγούμενης εντολής (Profile), η οποία βασίζεται σε μια ευθεία γραμμή, δίνεται η δυνατότητα, με

την παρούσα εντολή, σχηματισμού μιας τεθλασμένης γραμμής μελέτης με σκοπό την κατασκευή στρωματογραφικού ή λιθολογικού profile.

Με την επιλογή του Section ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα, στην αριστερή πλευρά του οποίου εμφανίζονται οι ίδιες επιλογές με το Profile, οι οποίες έχουν αναλυθεί παραπάνω.

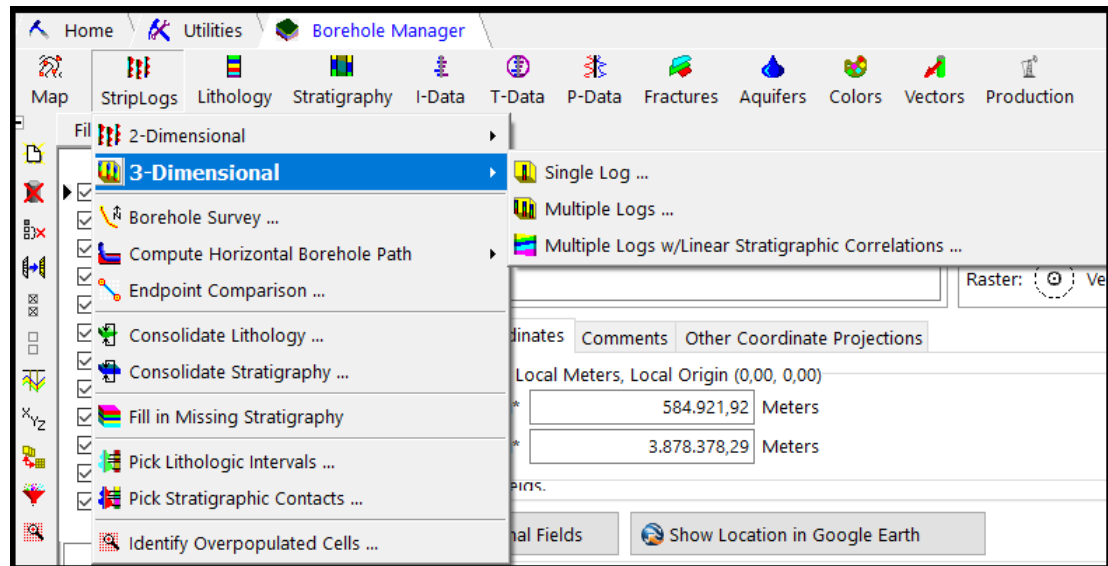
Επιπλέον, τα παράθυρα Instruction και 2D-Designer έχουν και αυτά αναλυθεί. Μετά από τα παράθυρα αυτά εμφανίζεται και το παράθυρο Section Selection Map (Εικόνα Π.19) το οποίο είναι ίδιο με το αντίστοιχο Profile Selection Map.



Εικόνα Π.19: Εντολή Section Selection Map

### Π.8.1.3.3- Dimensional

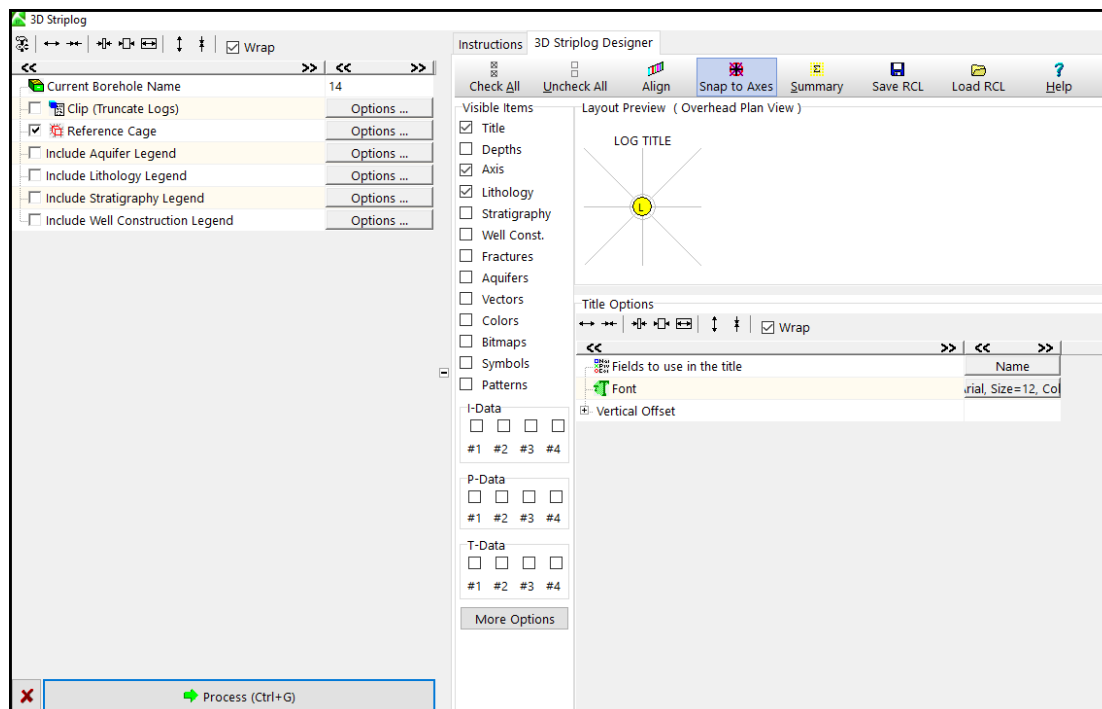
Το 3-Dimensional παρέχει κάποιες επιλογές οι οποίες και φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα Π.20.



Εικόνα Π.20: Επιλογές ρύθμισης για την εντολή 3-Dimensional

### Π.8.1.3.1.Single Log

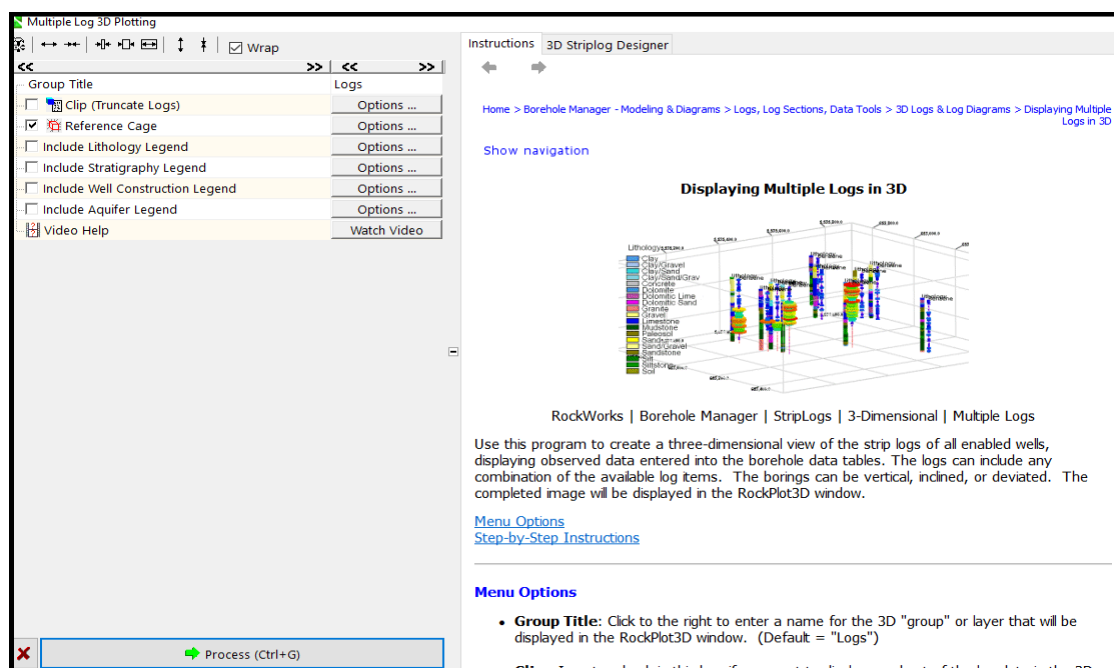
Επιλέγοντας το ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο το οποίο είναι το 3D- Striplog Designer (Εικόνα Π.21). Το παράθυρο αυτό είναι το ίδιο με το 2D-Striplog Designer με την μόνη διαφορά ότι τώρα αναφέρεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση.



Εικόνα Π.21: Επιλογή ρύθμισης 3D Striplog Designer

### Π.8.1.3.2. Multiple Logs

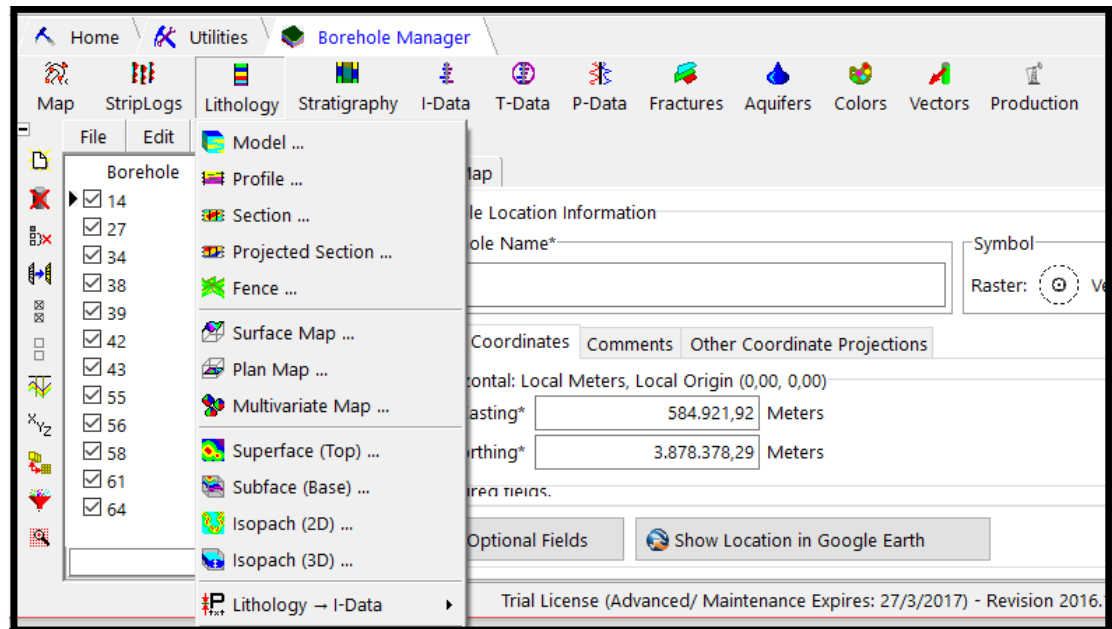
Με αυτή την επιλογή δημιουργείται τρισδιάστατη απεικόνιση πολλαπλών γεωτρήσεων (Εικόνα Π.22). Λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως και το Single Log.



Εικόνα Π.22: Επιλογές ρύθμισης της εντολής Multiple Logs

## Π.9. Το κύριο menu Lithology

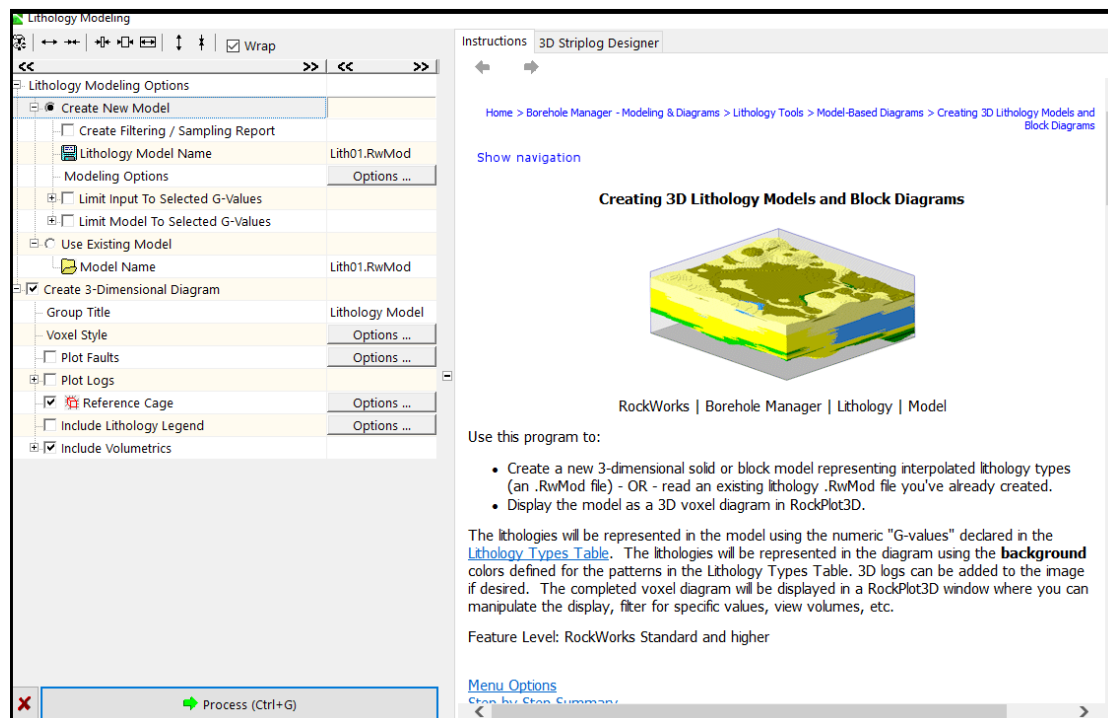
Σε αυτό το κύριο menu με χρήση των δεδομένων στο πεδίο Lithology του κεντρικού menu Borehole Manager(Εικόνα Π.23) και ενός αλγόριθμου τότε δημιουργούνται τρισδιάστατα λιθολογικά μοντέλα.



Εικόνα Π.23: Εντολή Lithology και οι επιλογές της

### Π.9.1.Model

Η εντολή αυτή ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο ρυθμίσεων το οποίο δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου λιθολογικού μοντέλου. Στο καινούργιο αυτό παράθυρο οι επιλογές χωρίζονται σε δύο στήλες (αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.24: Επιλογές ρύθμισης της εντολής Model

Οι επιλογές είναι οι παρακάτω, όπως φαίνονται και στην Εικόνα Π.24:

- Create new model, βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου και δημιουργεί ένα νέο λιθολογικό μοντέλο το όνομα του οποίου εισάγεται στο πεδίο Lithology model name. Τα λιθολογικά μοντέλα αποθηκεύονται ως αρχεία με κατάληξη .mod .
- Spatial (XYZ) Filtering, βρίσκεται στη δεξιά πλευρά του παραθύρου, χρησιμεύει για την ενεργοποίηση ενός φίλτρου στα δεδομένα που βασίζονται σε χωρικές συντεταγμένες. Το φιλτράρισμα γίνεται κατά τις διαδικασίες μοντελοποίησης. Επίσης, είναι διαφορετικό από τα φίλτρα που εφαρμόζονται όταν ολοκληρωθεί το μοντέλο.
- Create Filtering / Sampling Report, η επιλογή αυτή χρησιμεύει στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει δει ποια είναι να φιλτραρισμένα δεδομένα.
- Lithology Model Name, χρησιμεύει για την εισαγωγή του ονόματος του λιθολογικού μοντέλου. Τα λιθολογικά αρχεία αποθηκεύονται με την κατάληξη .RwMod .

- Modeling Options, επιλέγοντας το ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο ρυθμίσεων του μοντέλου με τις παρακάτω επιλογές:
  - Algorithm, βρίσκεται στην αριστερή πλευρά με εδώ επιλέγεται ο αλγόριθμος ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του μοντέλου. Οι επιλογές αλγορίθμων είναι: Closest point, Lateral Blending, Lateral Extrusion και Highest Probability.
  - Dimensions, βρίσκεται στην δεξιά πλευρά και καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου.
- Limit Input to Selected G Values, χρησιμεύει στο φιλτράρισμα δεδομένων εισόδου.
- Limit Model to Selected G Values, χρησιμεύει για το φιλτράρισμα του μοντέλου.
- Use existing model, παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιεί ένα ήδη υπάρχον μοντέλο λιθολογίας.
- Create 3- Dimensional Diagram, εδώ επιλέγεται το Reference Cage για την εισαγωγή κελιού αναφοράς και των αξόνων, στο τρισδιάστατο διάγραμμα. Επιπλέον, υπάρχει και το Include Lithology Legend το οποίο με την ενεργοποίησή του εισάγεται στο μοντέλο υπόμνημα που περιλαμβάνει τους λιθολογικούς τύπους με τον αντίστοιχο συμβολισμό τους, όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.
- Στο δεξί μέρος του πρώτου παραθύρου που έχει ανοίξει βρίσκεται η καρτέλα 3D Striplog Designer το οποίο έχει αναλυθεί στο κύριο menu Striplog.

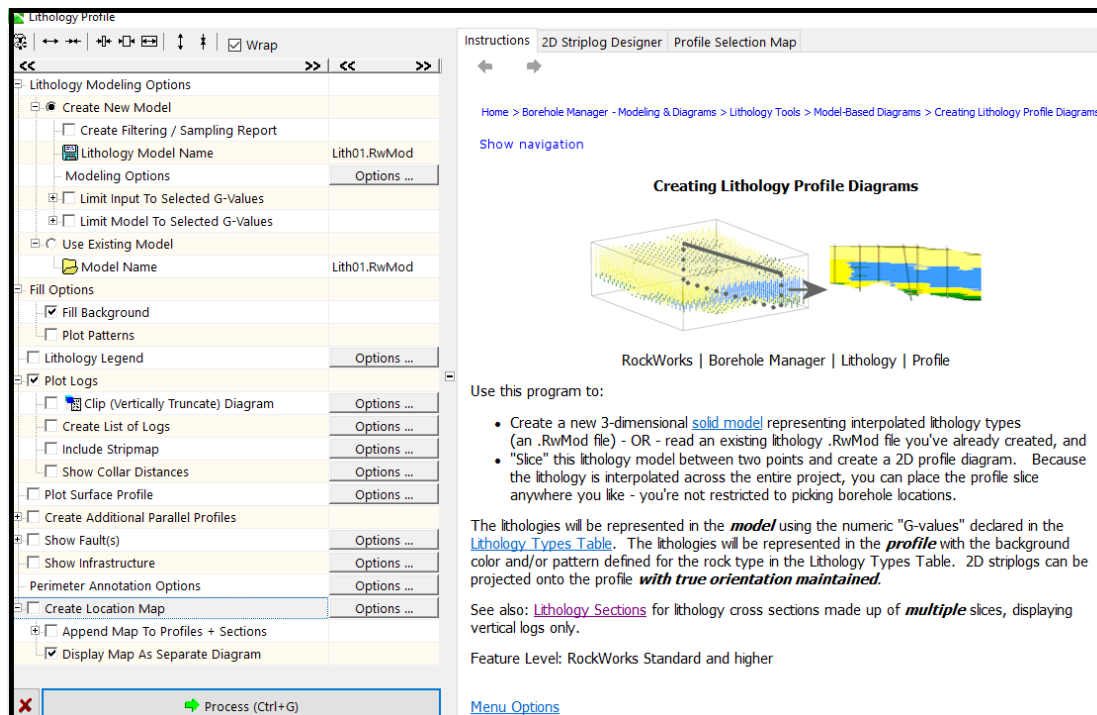
Τέλος, έχοντας γίνει οι κατάλληλες ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργείται το τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο.

### **Π.9.2.Profile**

Αυτού του τύπου προφίλ σχεδιάζονται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής στην περιοχή μελέτης. Το λογισμικό δημιουργεί δισδιάστατες στρωματογραφικές τομές που ορίζονται μεταξύ οποιονδήποτε δύο σημείων τα οποία ενώνονται με μια ευθεία γραμμή.



Επιλέγοντας την εντολή αυτή λοιπόν, ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο επιλογών διαφόρων ρυθμίσεων οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο στήλες (αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.25: Επιλογές ρύθμισης της εντολής Profile

Οι επιλογές είναι οι παρακάτω, όπως αυτές φαίνονται και στην Εικόνα Π.25:

- Lithology Modeling Options, εδώ ρυθμίζονται οι εντολές για τον τρόπο με τον οποίο θα δημιουργηθούν τα στρώματα του profile. Το πεδίο αυτό βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου.
- Create new model, χρησιμεύει για την δημιουργία καινούργιου μοντέλου.
- Fill Background, με την εντολή αυτή γεμίζουν τα κενά στα δεδομένα με το χρώμα που έχει ήδη επιλεγεί για το κάθε στρώμα.
- Lithology Legend, χρησιμεύει στην εισαγωγή κατάλληλου υπομνήματος στο λιθολογικό μοντέλο.
- Perimeter Annotation Options, εδώ υπάρχουν επιλογές όσον αφορά το τίτλο στο profile, τους κατακόρυφους άξονες υψομέτρων, το εύρος που θα έχει το

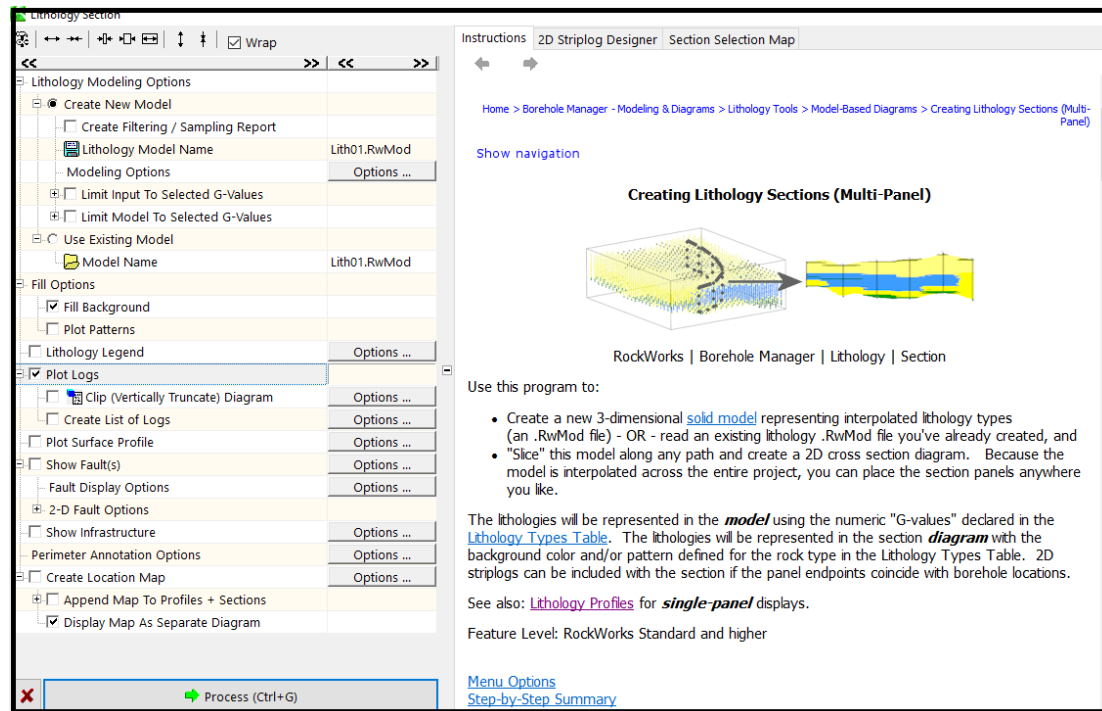
υψόμετρο και τέλος, αν αυτό θα καθοριστεί είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα από το χρήστη.

- Plot Patterns, θα συμπληρώσει τον χαρακτηριστικό σχεδιαστικό συμβολισμό κάθε στρώματος όπως αυτός έχει επιλεγεί στο Stratigraphy Types Table.
- Plot Logs, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Plot Surface, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Create Location Map, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Στο δεξί μέρος υπάρχει η καρτέλα 2D Striplog Designer, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Στο δεξί μέρος υπάρχει η καρτέλα Profile Selection Map, σε αυτή την καρτέλα υπάρχει ένας χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις και εδώ είναι που γίνεται η γραμμή που θα χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο.

Τέλος, αφού γίνουν οι ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργείται το profile.

### **Π.9.3.Section**

Με αυτή την εντολή μπορούν να σχεδιαστούν προφίλ κατά μήκος οποιασδήποτε διαδρομής στην περιοχή μελέτης. Επιλέγοντας του Section ανοίγεται ένα νέο παράθυρο το οποίο χωρίζεται σε δύο στήλες (αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.26: Επιλογές ρύθμισης της εντολής Section

Οι επιλογές που παρέχονται, οι οποίες παρουσιάζονται και στην Εικόνα Π.26, είναι οι παρακάτω:

- Lithology modeling options, εδώ η εντολή Use existing model επιλέγει το όνομα του μοντέλου με βάση το οποίο θα δημιουργηθεί το profile τύπου section. Επιπλέον, 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 ίδιες με αυτές που υπάρχουν στην επιλογή Model του Lithology.
- Fill Background και Plot Pattern, οι επιλογές αυτές αφορούν τον τρόπο που θα απεικονιστούν οι διαφορετικοί λιθολογικοί τύποι και βασίζονται στο lithology Types table.
- Lithology Legend, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Plot Logs, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).

- Plot Surface Profile, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Create Location Map, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Στο δεξί μέρος του παραθύρου υπάρχει η καρτέλα 2D Striplog Designer με ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές που έχουν αναλυθεί στο menu Striplogs. Επιπλέον, υπάρχει η καρτέλα Section Selection Map στην οποία εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις. Στο χάρτη αυτό λοιπόν, σχεδιάζεται η γραμμή του section.

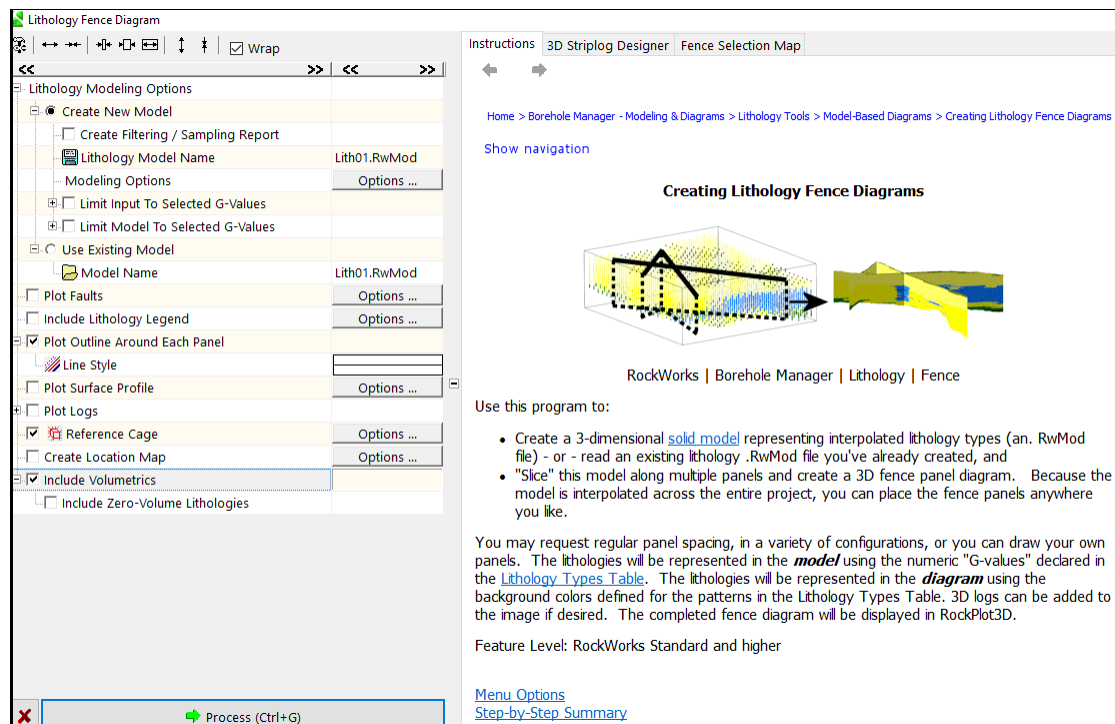
Τέλος, μετά τις απαραίτητες ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργείται η τομή τύπου Section.

## **Π.9.4.Fence**

### **Π.9.4.1.Fence (3D Profile)**

Η συγκεκριμένη εντολή παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής πολλαπλών προφίλ σε οποιαδήποτε σημεία της περιοχής μελέτης ακόμα και αν τα σημεία αυτά τέμνονται μεταξύ τους ή είναι παράλληλα και τα οποία προβάλλονται σε τρεις διαστάσεις.

Έτσι, επιλέγοντας την εντολή Fence ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο στο οποίο υπάρχουν επιλογές ρυθμίσεων οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο στήλες( αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.27: Επιλογές ρύθμισης της εντολής Fence

Οι επιλογές αυτού του παραθύρου, όπως φαίνονται και στην Εικόνα Π.27, είναι οι παρακάτω:

- Lithology Modeling Options, βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου και περιλαμβάνει τις ρυθμίσεις που είναι διαθέσιμες για το λιθολογικό μοντέλο.
- Include Lithology Legend, με την ενεργοποίηση του εισάγεται στο μοντέλο υπόμνημα που περιλαμβάνει τους λιθολογικούς τύπους με τον αντίστοιχο συμβολισμό τους, όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.
- Plot Logs, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Plot Surface Profile, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Create Location Map, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).

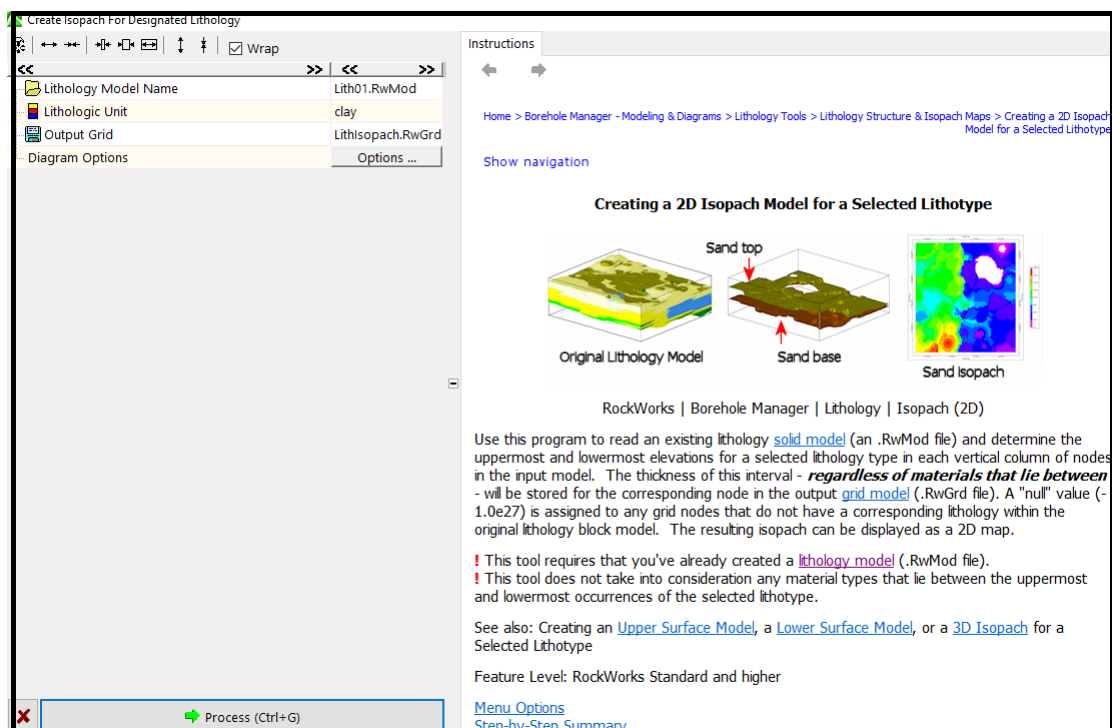
- 3D-Striplog Designer, η καρτέλα αυτή είναι στο δεξί μέρος του παραθύρου και έχει ήδη αναφερθεί κατά την εξήγηση της εντολής Profile στο κύριο menu Striplog.
- Fence Selection Map, είναι και αυτή μια καρτέλα στο δεξί μέρος του παραθύρου και στην οποία εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στην οποία σχεδιάζεται η γραμμή του profile.

Τέλος, έχοντας γίνει οι κατάλληλες ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργείται μια τομή τύπου Fence.

### Π.9.5.Isopach (2D)

Η εντολή αυτή παρέχει την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα δισδιάστατο χάρτη ο οποίος παρουσιάζει τις ισοπαχείς καμπύλες των επιλεγμένων λιθολογικών μονάδων. Τέτοιου είδους χάρτες παρουσιάζουν το πάχος κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο με καμπύλες οι οποίες συνδέουν τα σημεία ίσου πάχους του στρώματος.

Επιλέγοντας το ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο με επιλογές οι οποίες χωρίζονται σε δύο στήλες (αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.28: Επιλογές ρύθμισης της εντολής Isopach

Οι επιλογές, οι οποίες φαίνονται και στην Εικόνα Π.28, είναι οι παρακάτω:

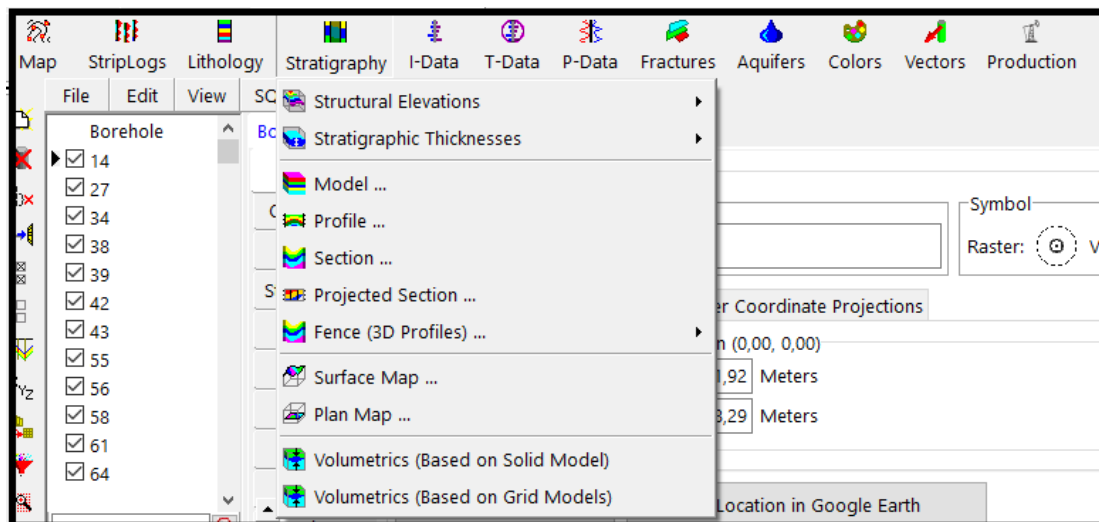
- Lithology Model Name, εισάγεται το όνομα του λιθολογικού μοντέλου που έχει δημιουργηθεί προηγουμένως και από το οποίο έχει εισαχθεί ο χάρτης ισοπαχών. Το αρχείο έχει την κατάληξη .mod .
- Output Grid, εδώ εισάγεται το όνομα που θέλει να δώσει ο χρήστης στο αρχείο του χάρτη.
- Colored Intervals, χρησιμοποιείται για να αναδείξει με χρώματα τις ισοπαχείς περιοχές του χάρτη.
- Border and Border Options, εδώ γίνονται οι ρυθμίσεις για το πλαίσιο που περιλαμβάνει το χάρτη, όπως οι λεζάντες προσανατολισμού, οι διαστάσεις.

Τέλος, έχοντας γίνει οι κατάλληλες ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργείται ο χάρτης ισοπαχών.

## **Π.10. Το κύριο menu Stratigraphy**

Από τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο κεντρικό menu Borehole Manager στο πεδίο Stratigraphy για τις γεωτρήσεις, το λογισμικό μπορεί να δημιουργήσει τρισδιάστατα στρωματογραφικά μοντέλα.

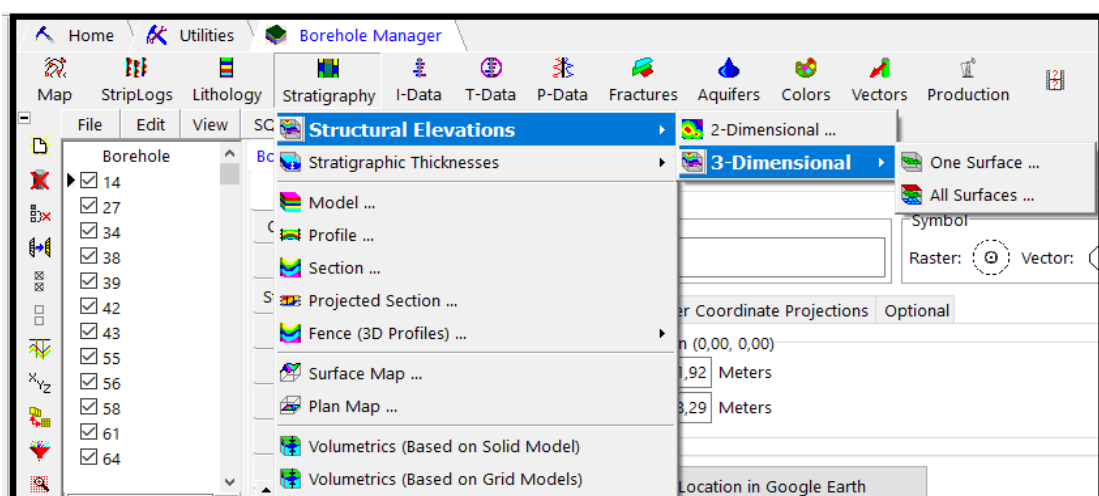
Επιλέγοντας το κύριο menu Stratigraphy εμφανίζονται μια σειρά από εντολές οι οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Επίσης, οι εντολές αυτές παρουσιάζονται στην παρακάτω (Εικόνα Π.29).



Εικόνα Π.29: Εντολές που παρέχονται στο κύριο menu Stratigraphy

### Π.10.1.Structural Elevations

Χρησιμοποιώντας την εντολή βάση του στρωματογραφικού μοντέλου δημιουργείται ένας δισδιάστατος χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις ισοβαθείς των επιλεγμένων ορίων των στρωματογραφικών μονάδων. Τέτοιου είδους χάρτες παρουσιάζουν το βάθος στο οποίο συναντάται τα ανώτερο ή το κατώτερο όριο κάθε στρώματος ως προς την κατακόρυφο. Επίσης, περιέχουν και καμπύλες σκοπός των οποίων είναι η σύνδεση των σημείων με ίδιο βάθος στο όριο του στρώματος.



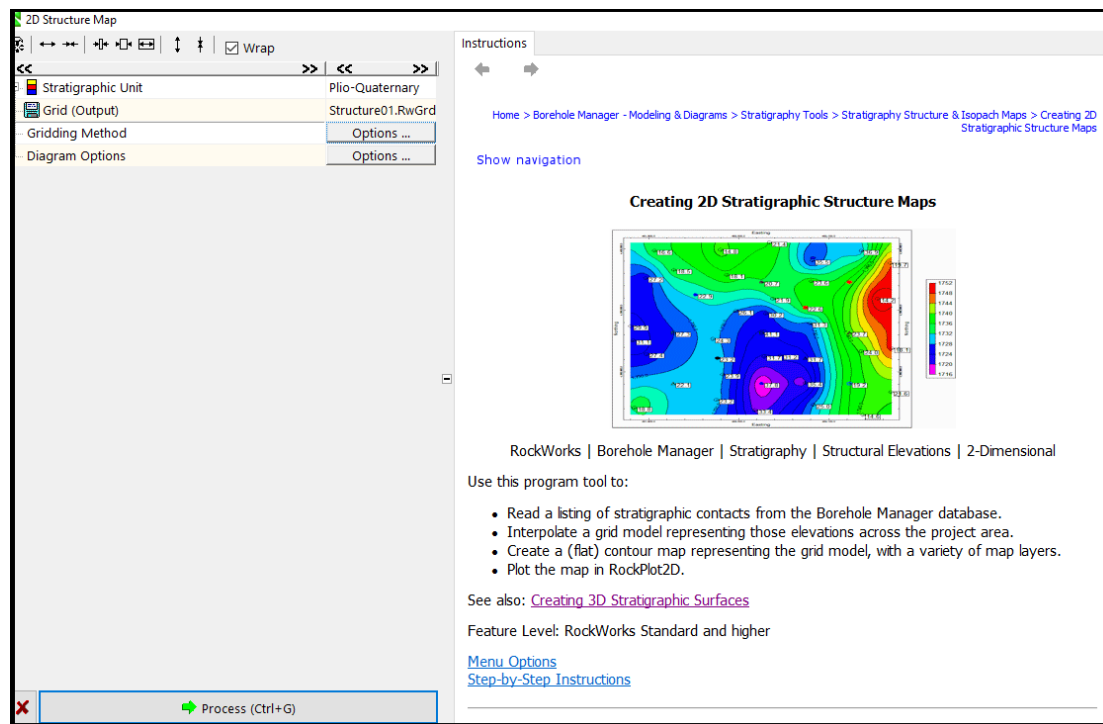
Εικόνα Π.30: Εντολή Structural Elevations και οι επιλογές που παρέχει



Επιλέγοντας την συγκεκριμένη εντολή, η οποία φαίνεται και στην Εικόνα Π.30, εμφανίζονται οι παρακάτω επιλογές:

#### Π.10.1.1.2-Dimensional

Με αυτή την επιλογή ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο στο οποίο ρυθμίζεται η απεικόνιση του χάρτη.



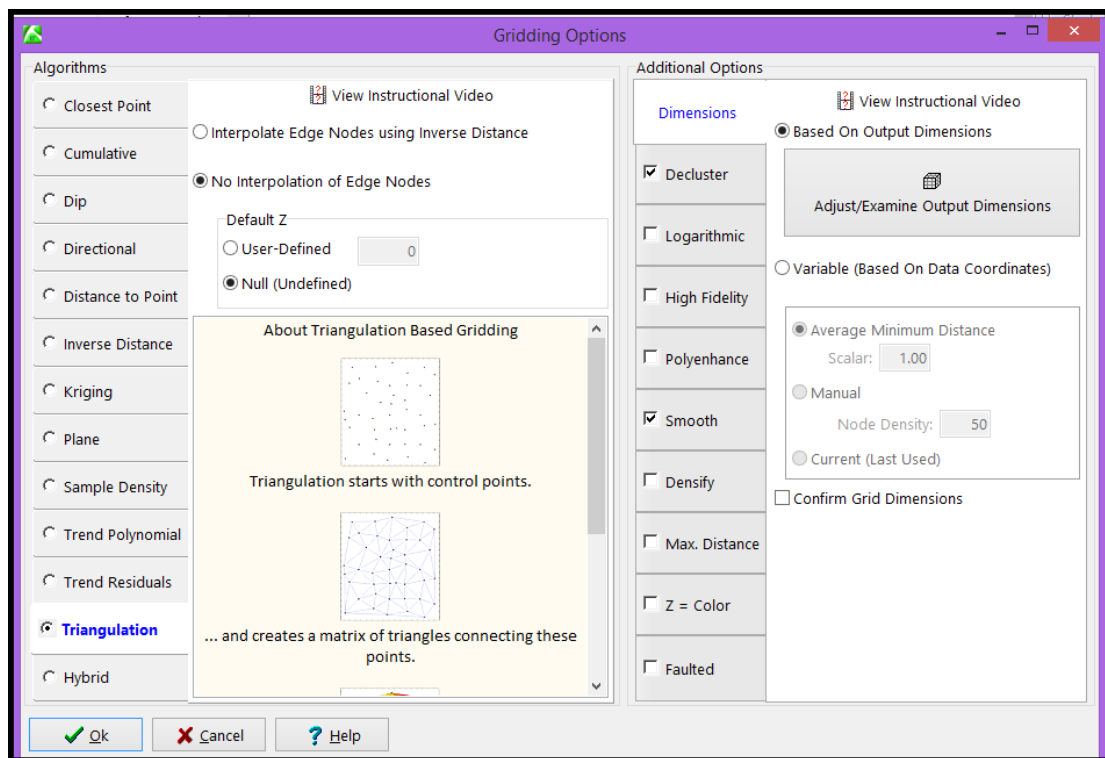
Εικόνα Π.31: Εντολή 2- Dimensional και οι επιλογές ρύθμισης της

Στο παράθυρο αυτό υπάρχουν τα εξής (Εικόνα Π.31):

- Stratigraphic Unit, με αυτήν την εντολή επιλέγεται η στρωματογραφική ενότητα από την οποία θα εξαχθεί ο χάρτης ισοπαχών.
- Superface (Top)/Subface (Base), επιλογή της ανώτερης και κατώτερης επιφάνειας για την ενότητα χαρτογράφησης.
- Gridding options, σε αυτή την εντολή επιλέγεται ο αλγόριθμος ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την μελέτη( Εικόνα Π.32)
- Contour Lines, χρησιμοποιώντας αυτή την επιλογή δημιουργείται μια γραμμή περιγράμματος των ισοπαχών. Η γραμμή αυτή καθορίζεται από το

πεδίο Contour Options. Στο πεδίο Contour options ρυθμίζονται και οι υποδιαιρέσεις της κλίμακας των παχών του χάρτη.

- Colored Intervals, από την εντολή αυτή καθορίζονται τα χρώματα που διαχωρίζουν τις ισοπαχείς περιοχές στο χάρτη.
- Borehole locations, είναι μια εντολή η οποία έχει αναφερθεί και παραπάνω σε προηγούμενο κύριο menu.



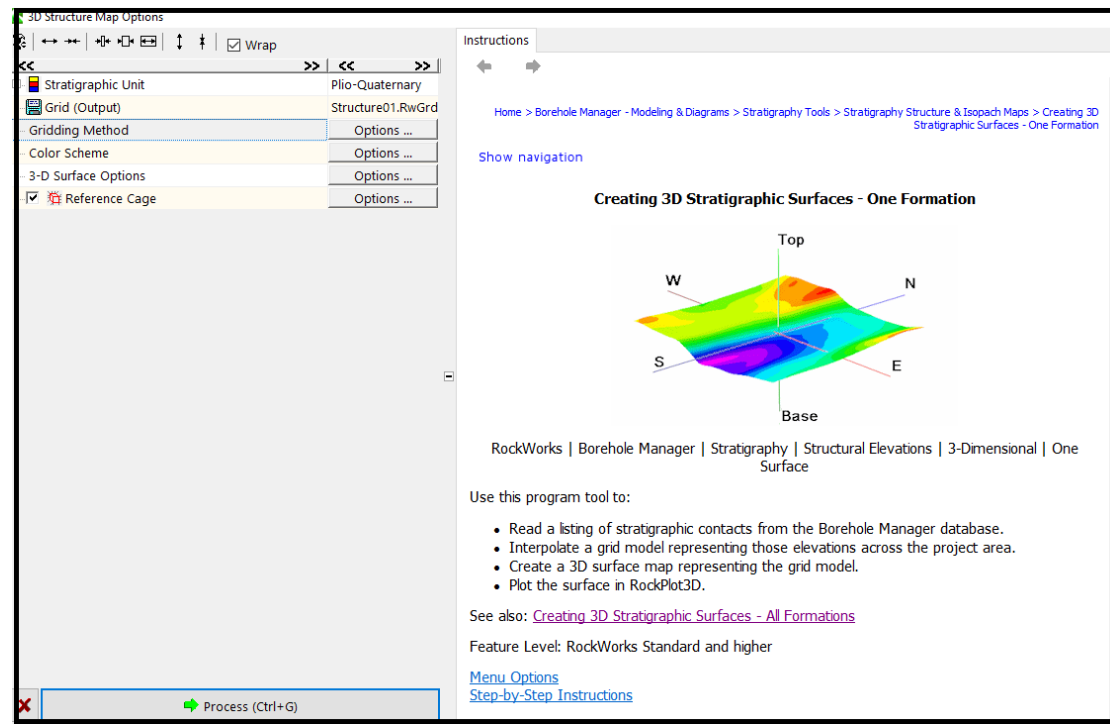
Εικόνα Π.32: Gridding Options

Τέλος, αφού έχουν ρυθμιστεί οι παραπάνω επιλογές και πατώντας το Process δημιουργείται ο ζητούμενος χάρτης.

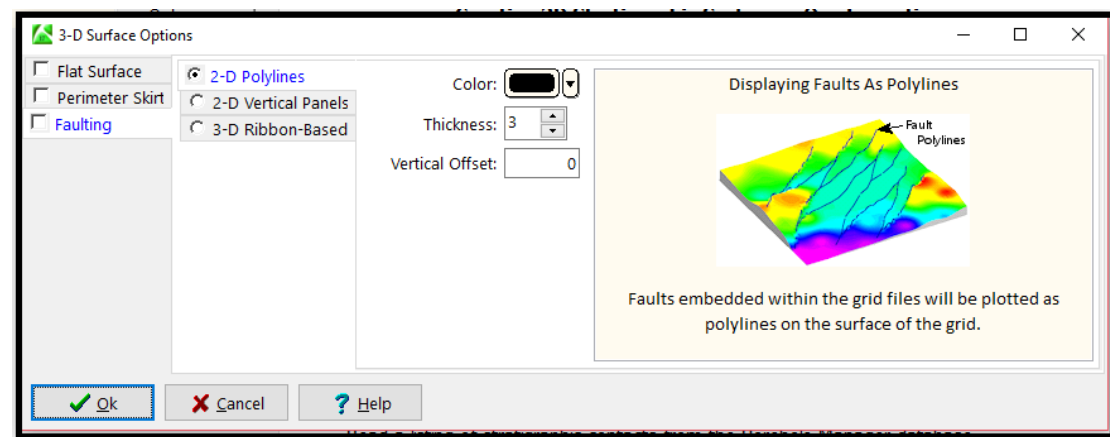
### Π.10.1.2. 3-Dimensional

Η λειτουργία αυτής της εντολής είναι η ίδια με την 2-Dimensional, με τη μόνη διαφορά ότι εδώ γίνεται τρισδιάστατη απεικόνιση και όχι δισδιάστατη. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα επιλογής απεικόνισης σε μια επιφάνεια και απεικόνισης σε

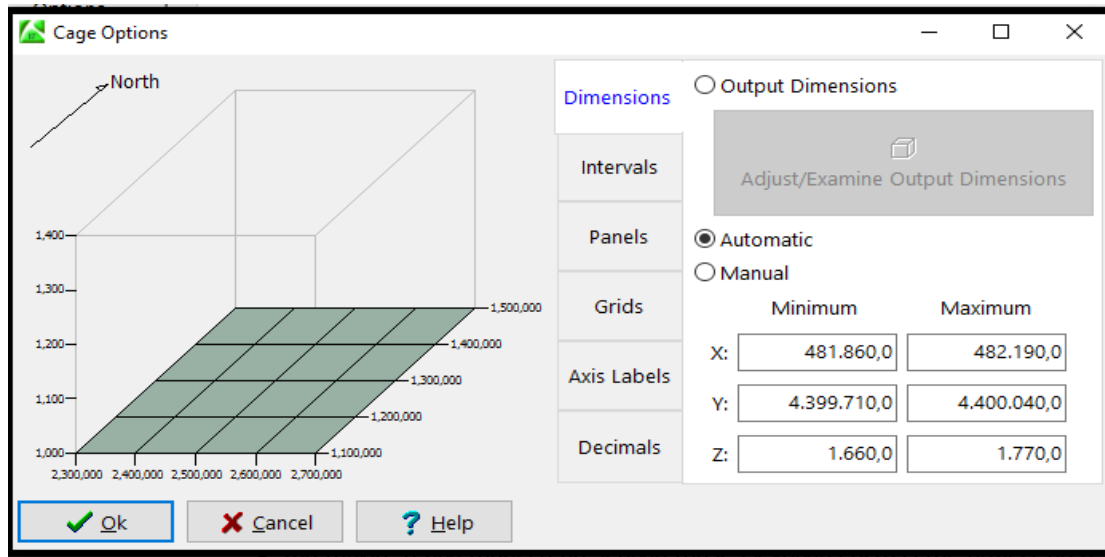
όλες της επιφάνειες που υπάρχουν στη μελέτη. Στις Εικόνες Π.33, Π.34, Π.35 φαίνονται οι επιλογές που παρέχονται.



Εικόνα Π.33: Εντολή 3-Dimensional και οι επιλογές της



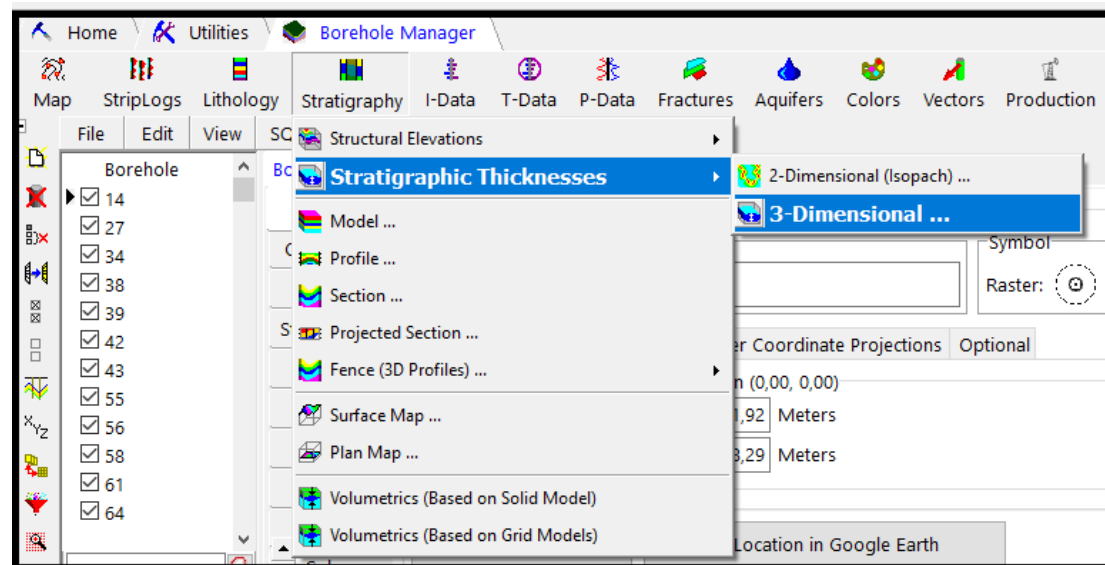
Εικόνα Π.34: Εντολή 3-Dimensional και οι 3D Surface Options



Εικόνα Π.35: Εντολή 3-Dimensional και Cage Options

## Π.10.2.Stratigraphic Thicknesses

Σκοπός της συγκεκριμένης εντολής είναι η δημιουργία ενός δισδιάστατου χάρτη ο οποίος παρουσιάζει τις ισοπαχείς 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.

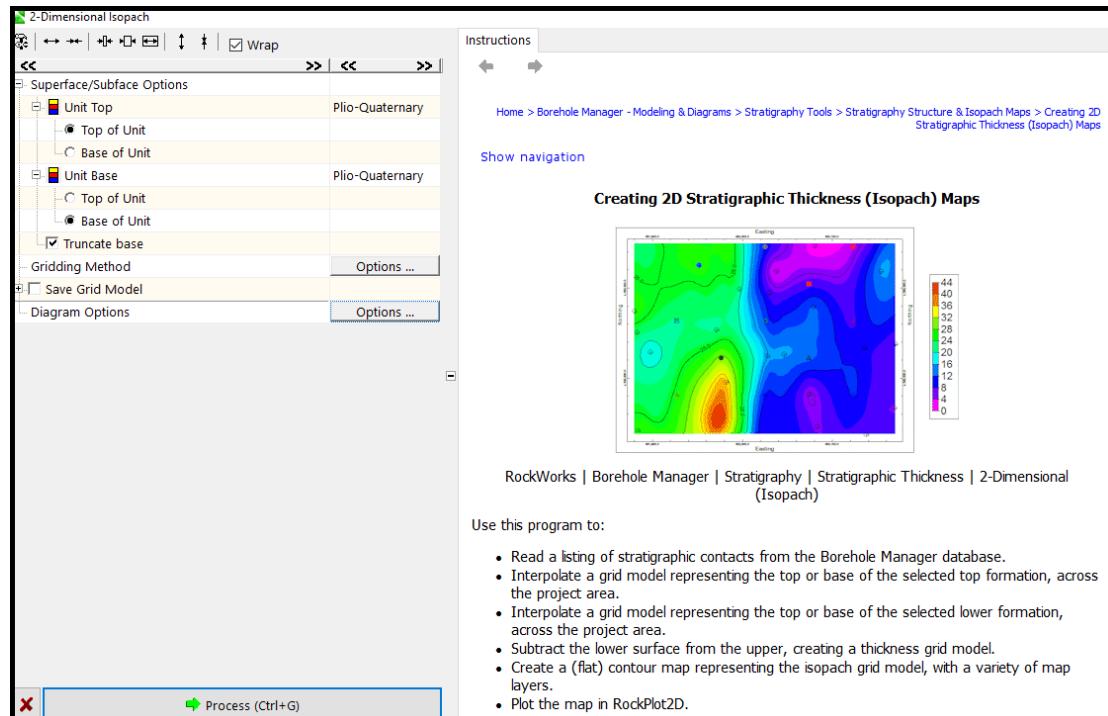


Εικόνα Π.36: Εντολή Stratigraphic Thicknesses

Με την επιλογή της εντολής ( Εικόνα Π.36) αυτής παρουσιάζονται οι παρακάτω εντολές:

### Π.10.2.1. 2-Dimensional (Isopach)

Από την εντολή αυτή ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο εντολών οι οποίες αφορούν τις ρυθμίσεις κατασκευής και απεικόνισης του χάρτη.



Εικόνα Π.37: Εντολή Isopach και οι επιλογές ρύθμισης

Από το καινούργιο παράθυρο, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα Π.37, προκύπτουν οι παρακάτω επιλογές:

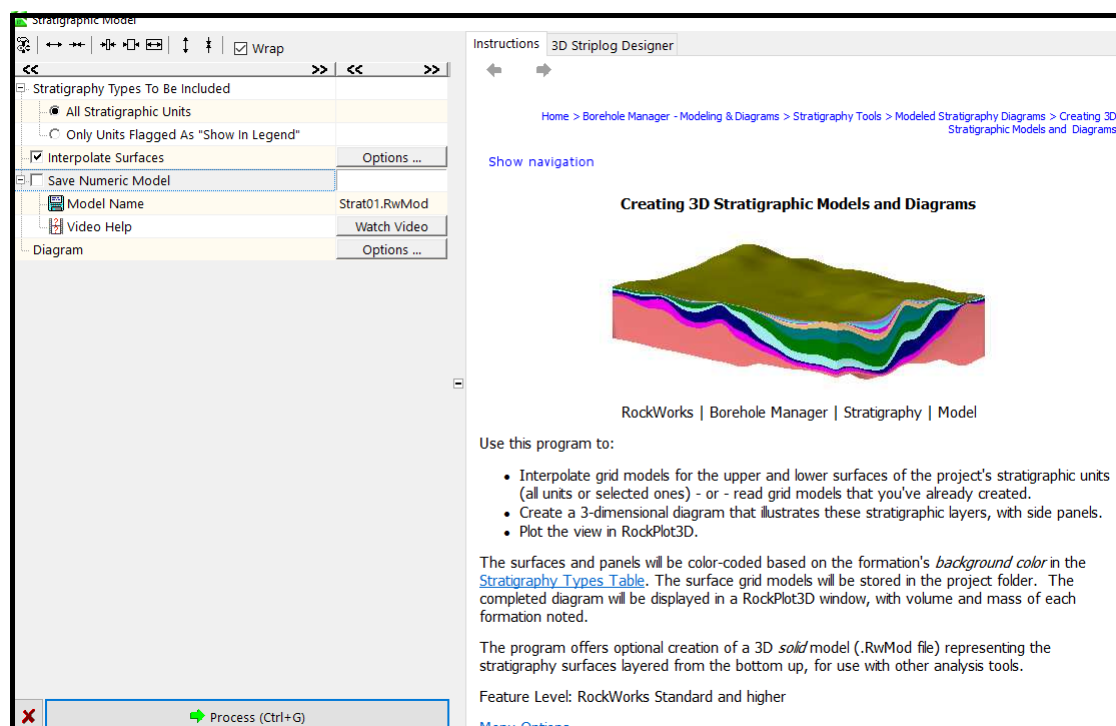
- Superface/Subface options, η επιλογή αυτή έχει ήδη αναλυθεί στο Structural Elevations.
- Gridding options, η επιλογή αυτή έχει ήδη αναλυθεί στο Structural Elevations.
- Save Grid Name, στην επιλογή αυτή δίνεται το επιθυμητό όνομα στο χάρτη ισοπαχών. Όπου, το αρχείο θα έχει την κατάληξη .grd
- Diagram Options, αφορά τις ρυθμίσεις σχεδίασης του χάρτη.
- Contour Lines, η επιλογή αυτή έχει ήδη αναλυθεί στο Structural Elevations.

- Contour Intervals, η επιλογή αυτή έχει ήδη αναλυθεί στο Structural Elevations.
- Plot Color Legend, δημιουργεί επεξηγηματικό υπόμνημα με τις αντίστοιχες επιλογές για την διαμόρφωση του.

Τέλος, αφού ρυθμιστούν οι παραπάνω επιλογές και πατώντας το Process δημιουργείται ο επιθυμητός χάρτης ισοπαχών.

### Π.10.3.Model

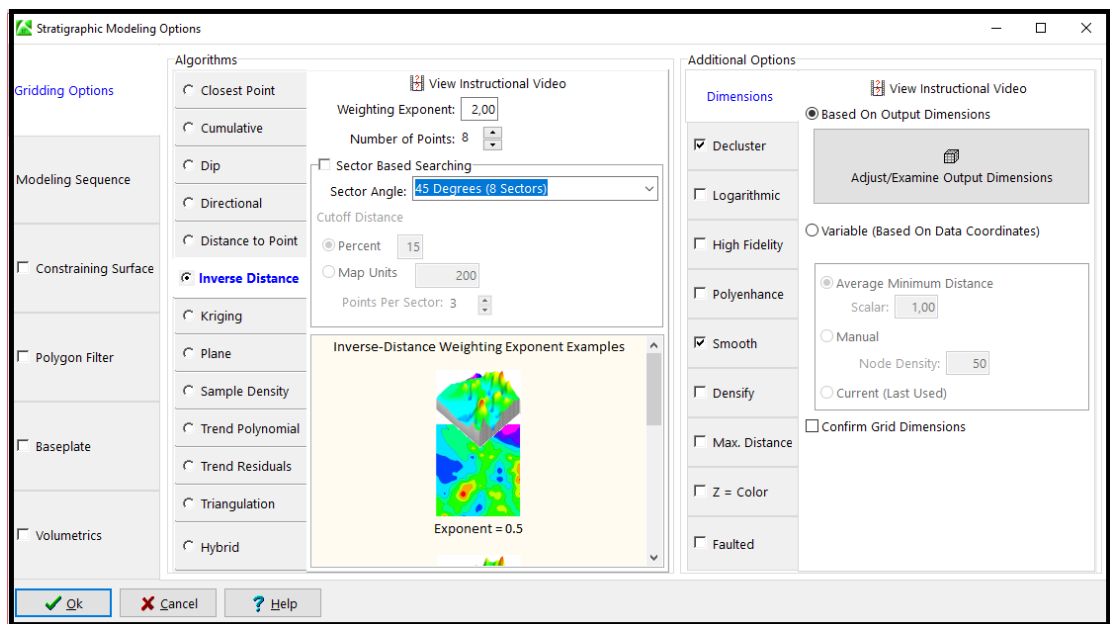
Επιλέγοντας την εντολή αυτή ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο ρυθμίσεων το οποίο δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων κατασκευής και απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου. Στο καινούργιο αυτό παράθυρο οι επιλογές χωρίζονται σε δύο στήλες (αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.38: Εντολή Model και παράθυρο ρυθμίσεων

Οι επιλογές είναι οι παρακάτω(Εικόνα Π.38 ):

- 3D Striplog Designer, οι ρυθμίσεις αυτές είναι παρόμοιες με τις καρτέλες Striplog Designer στο menu Single Log και έχουν αναλυθεί παραπάνω. Το 3D Striplog Designer βρίσκεται στο δεξί μέρος του παραθύρου.
- Interpolate Surfaces, βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου και επιλέγεται στην περίπτωση που επιθυμείται η παρεμβολή επιφανειών, όπως για παράδειγμα η τοπογραφία.



Εικόνα Π.39: Επιλογές για Gridding Modeling Options

- Gridding Options, γίνεται η επιλογή του αλγορίθμου που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη. Μπορεί και να διαφοροποιηθεί εάν χρειαστεί (Εικόνα Π.39).
- Interpolate Edge Points και No Edge Interpolation, στην εντολή αυτή γίνεται η επιλογή ή όχι του αυτόματου υπολογισμού οριακών σημείων του μοντέλου στα οποία δεν υπάρχουν τιμές.
- Grid Dimensions, εντολή για τον προσδιορισμό των διαστάσεων. Εδώ επιλέγεται Based On Project Dimensions ούτως ώστε να βασίζεται στις διαστάσεις που ορίστηκαν από το πεδίο Project Dimensions.
- Additional Options, σε αυτή την εντολή έχει επιλεγθεί το Decluster όπου χρησιμοποιείται εάν υπάρχουν συγκεντρωμένα ή διπλά σημεία. Πριν από την προσομοίωση το λογισμικό δημιουργεί ένα φανταστικό πλέγμα πάνω από τα σημεία των δεδομένων. Στο πεδίο Resolution γίνεται η ανάλυση

πλέγματος, όπου συμπληρώνεται ο αριθμός των κελιών του πλέγματος κατά τους δύο άξονες Ανατολή-Δύση και Βορρά-Νότο.

- Onlap, εδώ γίνεται η διόρθωση των στρωματογραφικών μοντέλων στα οποία τα τμήματα μιας ανώτερης στρωματογραφικής ενότητας εκτείνονται κάτω από τη βάση μιας χαμηλότερης ενότητας. Δίνεται προτεραιότητα στις χαμηλότερα στρωματογραφικές ενότητες δημιουργώντας έτσι το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω.
- Constrain Model Based On Ground Surface, η επιλογή αυτή δίνει τη δυνατότητα περιορισμού του μοντέλου με τη χρήση μιας επιφάνειας. Συνήθως, η επιφάνεια αυτή είναι τοπογραφική.
- Ground Surface Grid Model, εδώ επιλέγεται το αντίστοιχο αρχείο επιφάνειας με την κατάληξη .grd
- Polygon Filter, η επιλογή αυτή γίνεται με σκοπό την αφαίρεση τμημάτων της στρωματογραφικής επιφάνειας που βρίσκονται, είτε εντός είτε εκτός 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. Επιπλέον, το πολύγωνο αυτό μπορεί να σχεδιαστεί και σε κάποιο άλλο πρόγραμμα, όπως για παράδειγμα το AutoCad.

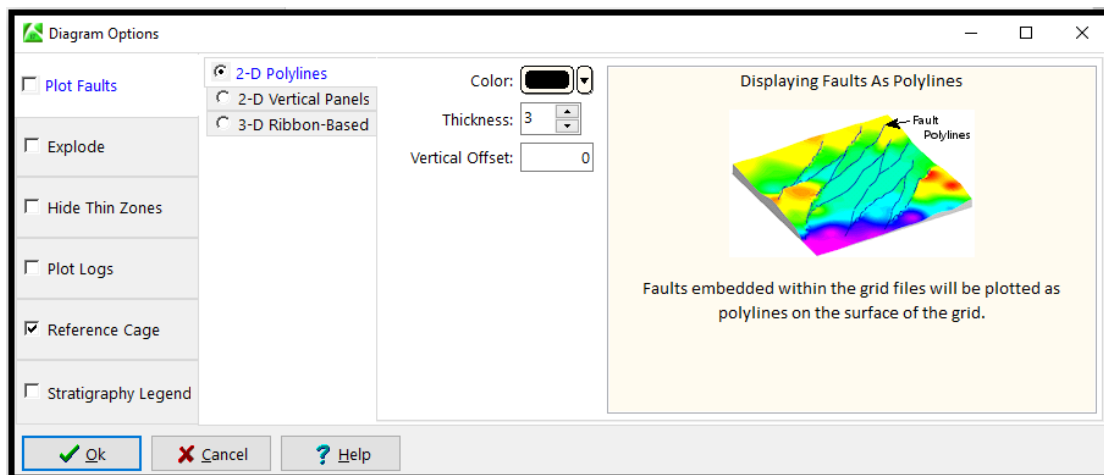
Η χρήση της εντολής Polygon Filter, αν και δεν είναι υποχρεωτική, γίνεται με σκοπό την προσέγγιση πραγματικών γεωλογικών συνθηκών.

- Baseplate, χρησιμοποιείται με σκοπό την επέκταση της βάσης του κατώτερου σχηματισμού στο σύνολο του υψομέτρου.

Στο πεδίο Start Unite δίνεται το όνομα του σχηματισμού που θα επεκταθεί. Ενώ, στο πεδίο Elevation ορίζεται η τιμή υψομέτρου βάσης του σχηματισμού που επιλέχθηκε προηγουμένως.

- Save Numeric Model, γίνεται προσθήκη του ονόματος του στρωματογραφικού μοντέλου. Τα αρχεία των στρωματογραφικών μοντέλων έχουν κατάληξη .mod





Εικόνα Π.40: Επιλογή Diagram Options

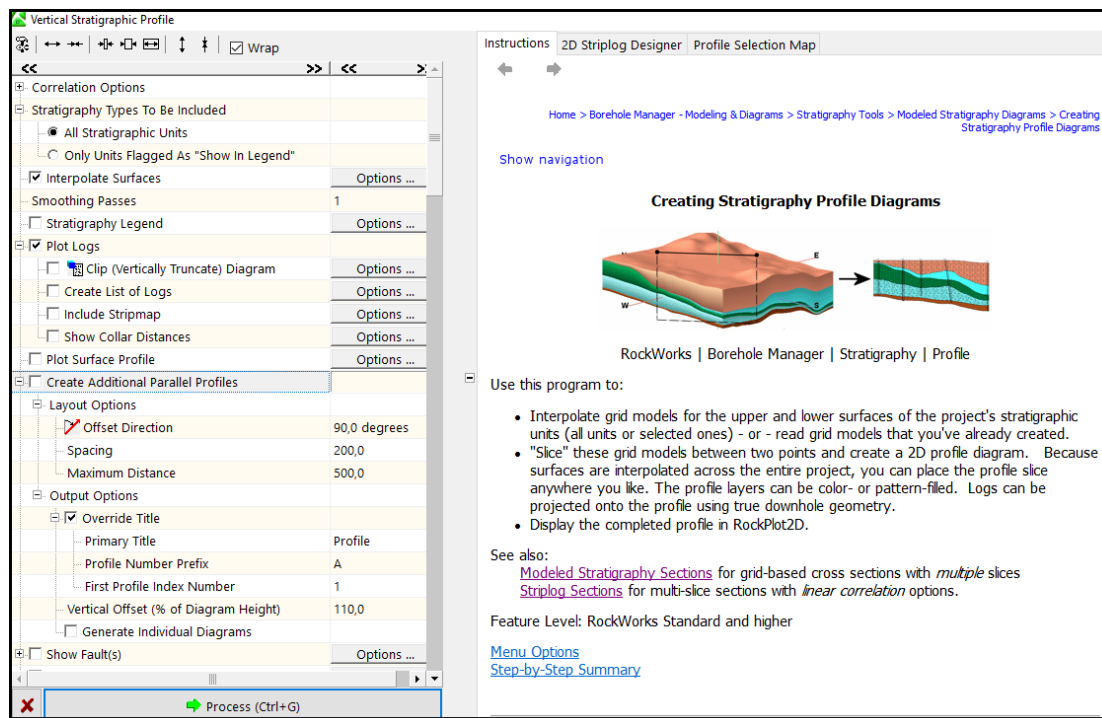
- Diagram Options, εδώ επιλέγεται το Reference Cage για την εισαγωγή κελιού και
- αξόνων στο τρισδιάστατο διάγραμμα (Εικόνα Π.40).
- Include Stratigraphy Legend, με την ενεργοποίηση αυτού του πεδίου εισάγεται στο μοντέλο υπόμνημα που περιλαμβάνει τους στρωματογραφικούς τύπους με τον αντίστοιχο συμβολισμό τους, όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.

Όποτε δημιουργείται ένα τρισδιάστατο στρωματογραφικό μοντέλο τότε αυτόματα δημιουργούνται αυτόματα αρχεία .grd της βάσης και της οροφής κάθε στρωματογραφικής ενότητας που υπάρχει στο μοντέλο.

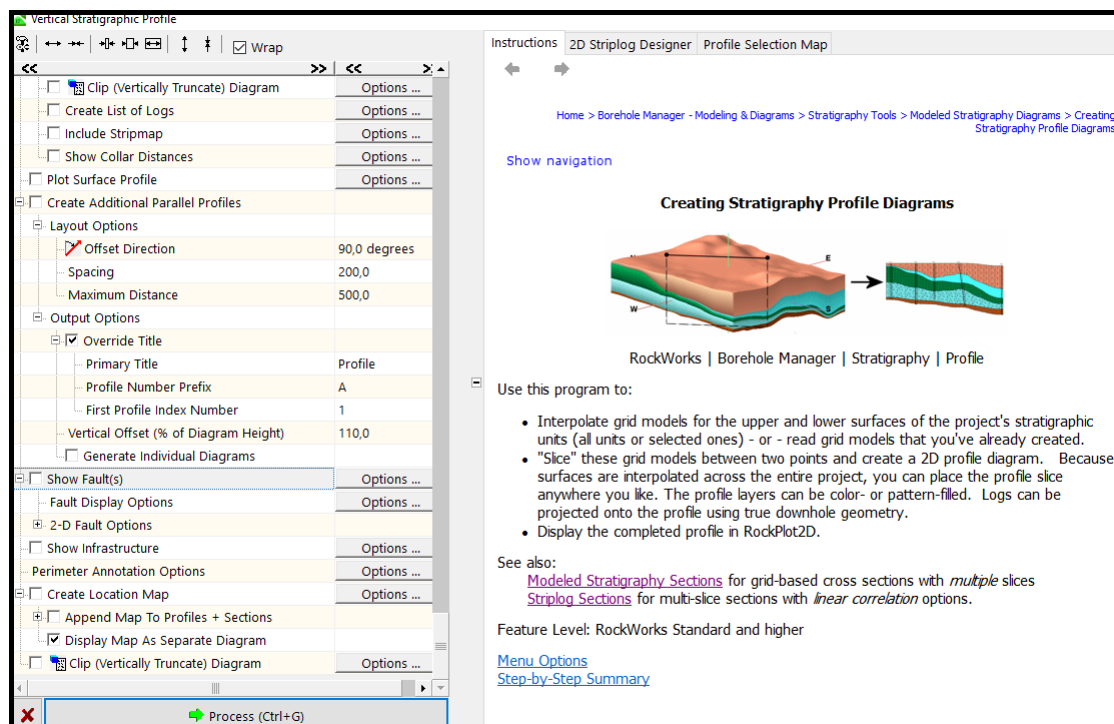
#### Π.10.4.Profile

Αυτού του τύπο προφίλ σχεδιάζονται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής στην περιοχή μελέτης. Το λογισμικό δημιουργεί δισδιάστατες στρωματογραφικές τομές που ορίζονται μεταξύ οποιονδήποτε δύο σημείων τα οποία ενώνονται με μια ευθεία γραμμή.

Επιλέγοντας την εντολή αυτή λοιπόν, ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο επιλογών διαφόρων ρυθμίσεων οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο στήλες (αριστερά και δεξιά).



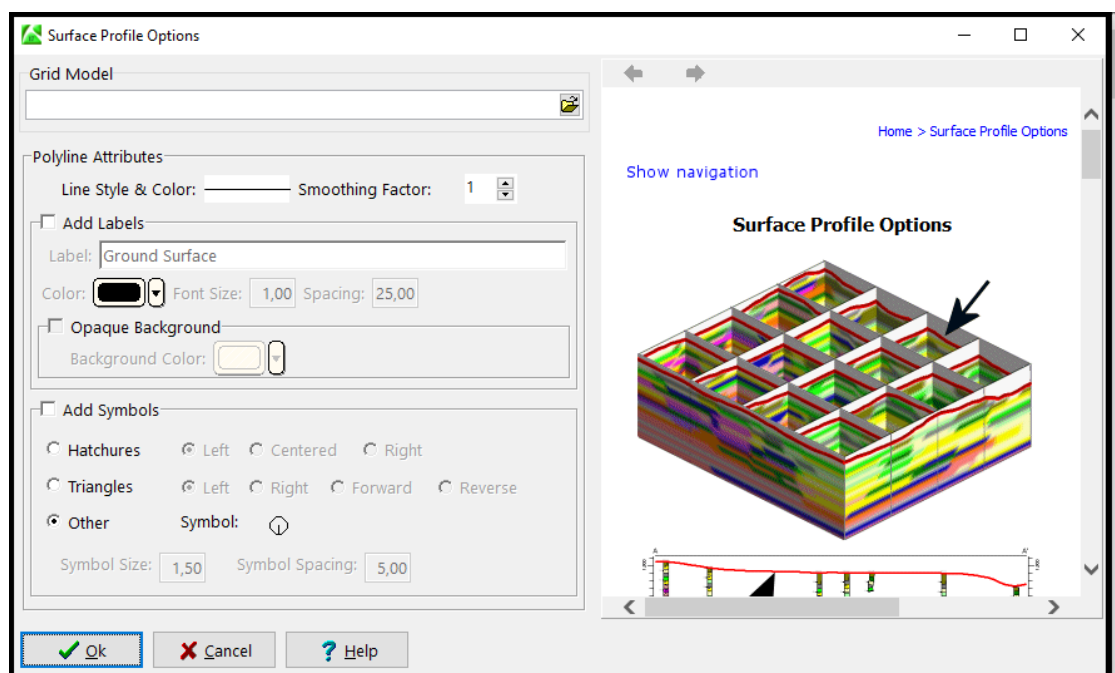
Εικόνα Π.41: Επιλογές ρύθμισης εντολής Profile



Εικόνα Π.42: Επιλογές ρύθμισης εντολής Profile

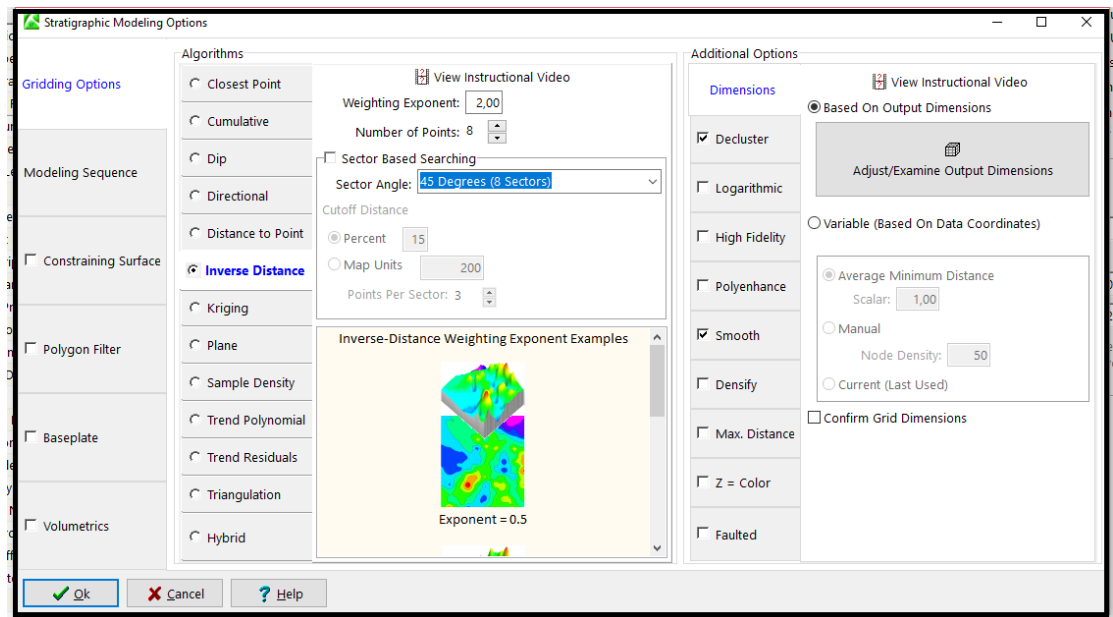
Οι επιλογές, οι οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα Π.41 και Εικόνα Π.42, είναι οι παρακάτω:

- Correlation Options, εδώ ρυθμίζονται οι εντολές για τον τρόπο με τον οποίο θα δημιουργηθούν τα στρώματα του profile. Το πεδίο αυτό βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου.
- Interpolate Surfaces, βρίσκεται στο αριστερό μέρος του παραθύρου και επιλέγεται στην περίπτωση που επιθυμείται η παρεμβολή επιφανειών, όπως για παράδειγμα η τοπογραφία.
- Fill Background, με την εντολή αυτή γεμίζουν τα κενά στα δεδομένα με το χρώμα που έχει ήδη επιλεγεί για το κάθε στρώμα.
- Plot Logs, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).



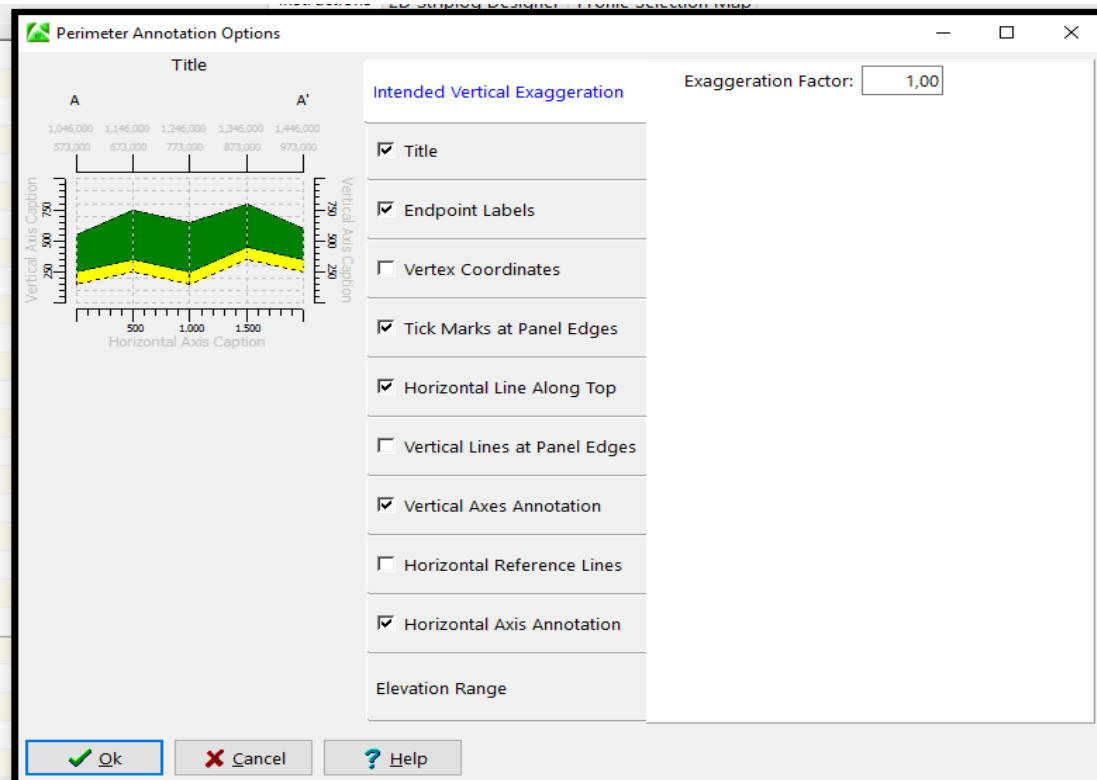
Εικόνα Π.43: Επιλογή Plot Surface Profile

- Plot Surface Profile, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional) (Εικόνα Π.43).



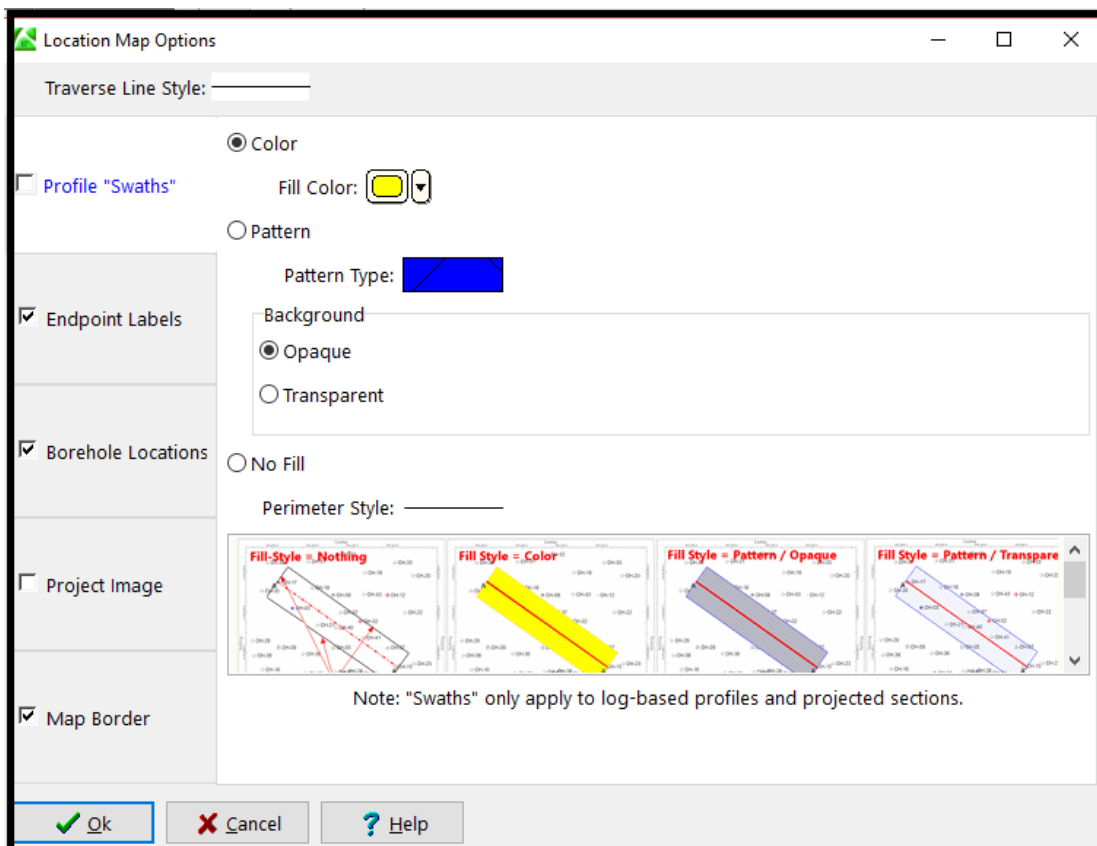
Εικόνα Π.44: Επιλογή Gridding Options

- Gridding Options, λειτουργεί το ίδιο με την αντίστοιχη εντολή του στρωματογραφικού μοντέλου και έχει ήδη αναλυθεί παραπάνω (Εικόνα Π.44).
- Onlap, λειτουργεί το ίδιο με την αντίστοιχη εντολή του στρωματογραφικού μοντέλου και έχουν ήδη αναλυθεί παραπάνω.
- Costrain Model base on Ground Surface, λειτουργεί το ίδιο με την αντίστοιχη εντολή του στρωματογραφικού μοντέλου και έχουν ήδη αναλυθεί παραπάνω.
- Polygon Filter, λειτουργεί το ίδιο με την αντίστοιχη εντολή του στρωματογραφικού μοντέλου και έχουν ήδη αναλυθεί παραπάνω.
- Baseplate, λειτουργεί το ίδιο με την αντίστοιχη εντολή του στρωματογραφικού μοντέλου και έχουν ήδη αναλυθεί παραπάνω.
- Stratigraphy Legend, χρησιμεύει για την εισαγωγή κατάλληλου υπομνήματος στο μοντέλο.



Εικόνα Π.45: Επιλογή ρύθμισης Perimeter Annotation Options

- Peremeter Annonation Options, έχει αναλυθεί παραπάνω (Εικόνα Π.45).



Εικόνα Π.46: Επιλογή ρύθμισης Create Location Map

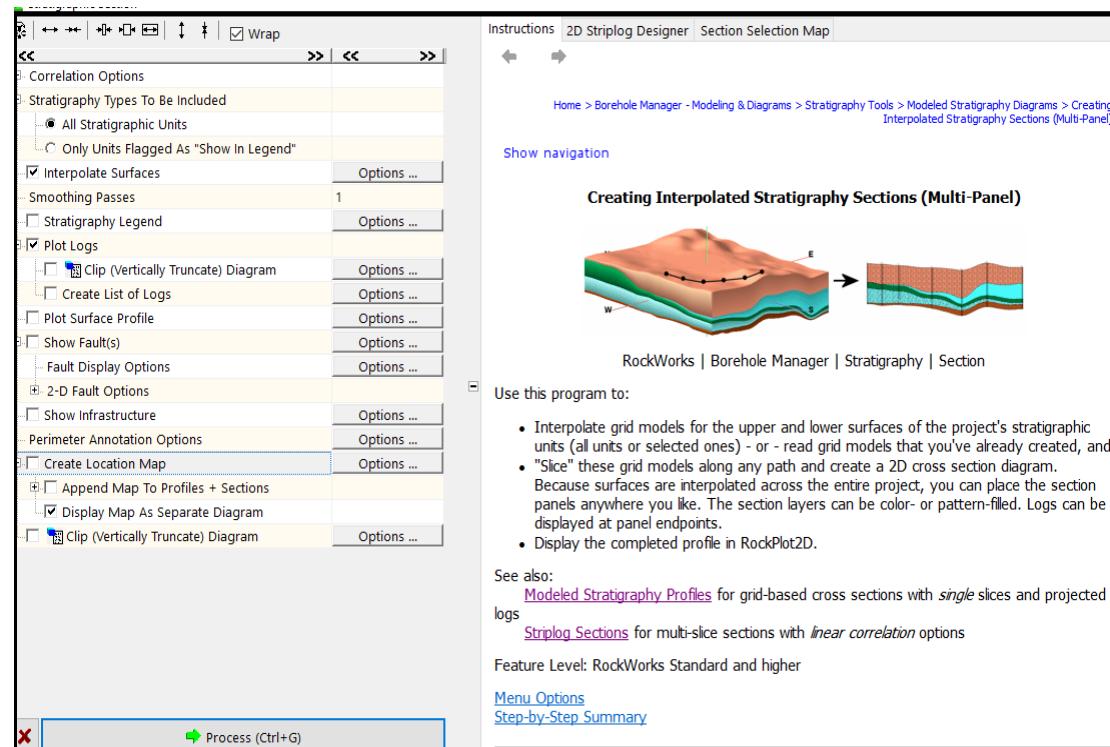
- Create Location Map, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional) (Εικόνα Π.46).

Τέλος, αφού γίνουν οι ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργείται το profile.

### Π.10.5.Section

Το προφίλ αυτού του τύπου σχεδιάζεται κατά μήκος οποιασδήποτε γραμμής στην περιοχή μελέτης.

Επιλέγοντας την εντολή αυτή ανοίγεται ένα καινούργιο παράθυρο επιλογών ρυθμίσεων οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο στήλες ( αριστερά και δεξιά).



Εικόνα Π.47: Επιλογές ρύθμισης εντολής Section

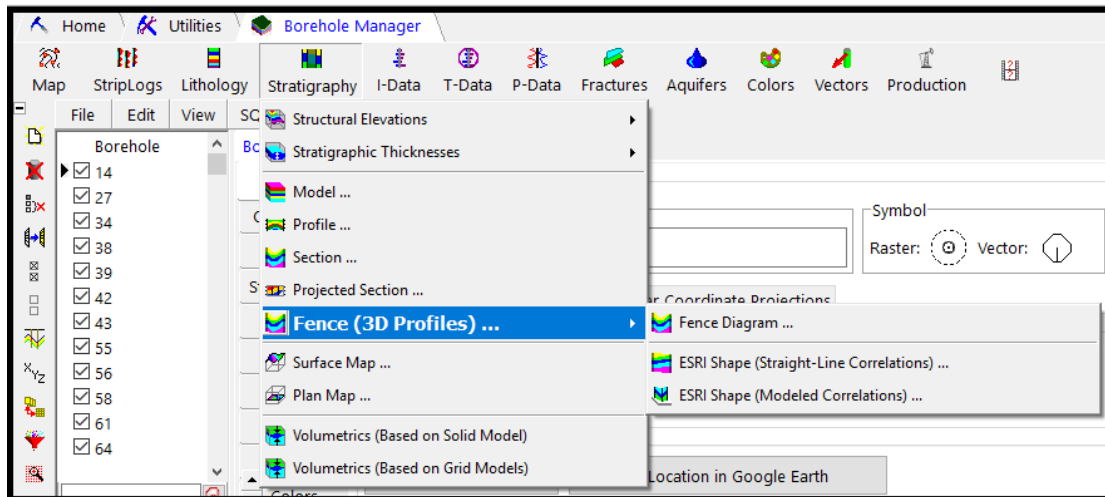
Οι επιλογές αυτού του παραθύρου, οι οποίες παρουσιάζονται και στην Εικόνα Π.47, είναι οι παρακάτω:

- Correlation options, και αφορά το σχεδιαστικό μέρος της τομής. Οι επιλογές αυτές έχουν ήδη αναφερθεί στο Profile του κυρίως menu Stratigraphy.
- Interpolate Surfaces, έχει ήδη αναφερθεί στο Model του κυρίως menu Stratigraphy.
- Include Stratigraphy legend,
- Plot Logs, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Plot Surface, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Create location Map, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Στο δεξί μέρος του παραθύρου υπάρχουν οι καρτέλες 2D-Striplog Designer με ρυθμίσεις παρόμοιες με αυτές που έχουν αναλυθεί στο κυρίως menu Striplog.
- Section Selection Map, σε αυτή την καρτέλα εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στον οποίο σχεδιάζεται η γραμμή του Section.

Τέλος, αφού γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις και πατώντας το Process δημιουργείται η τομή τύπου Section.

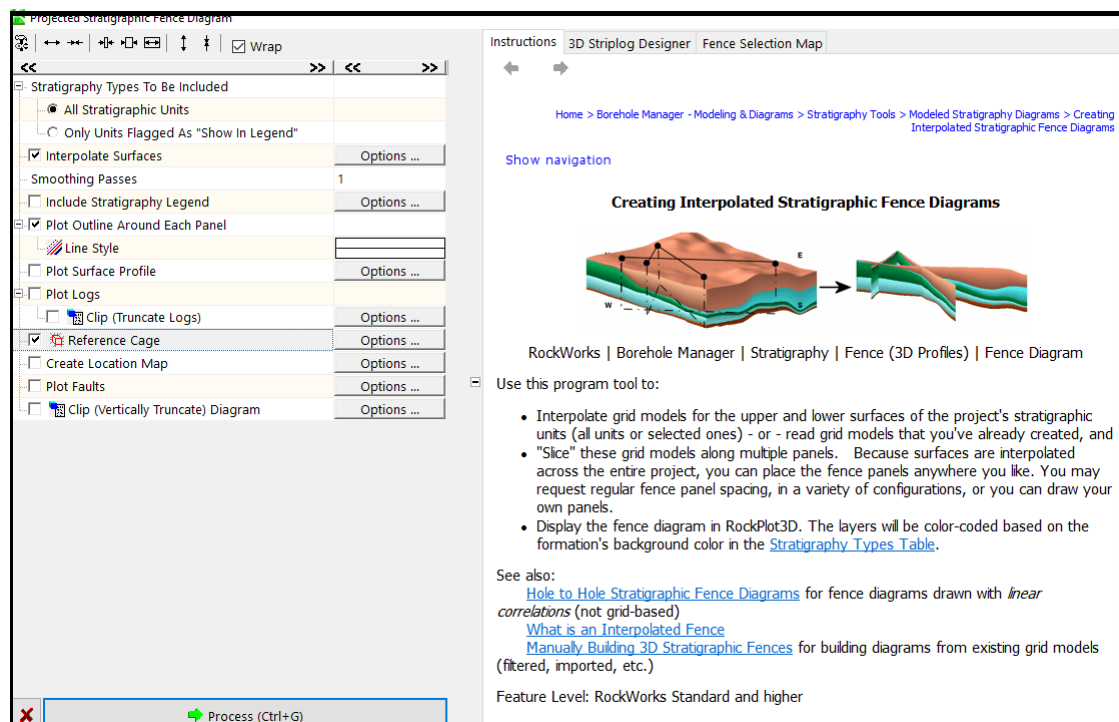
#### **Π.10.6.Fence (3D Profile)**

Η συγκεκριμένη εντολή παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής πολλαπλών προφίλ σε οποιαδήποτε σημεία της περιοχής μελέτης ακόμα και αν τα σημεία αυτά τέμνονται μεταξύ τους ή είναι παράλληλα και τα οποία προβάλλονται σε τρεις διαστάσεις (Εικόνα Π.48).



Εικόνα Π.48: Εντολή Fence από το κύριο menu Borehole Manager

Έτσι, επιλέγοντας την εντολή Fence ανοίγει ένα καινούργιο παράθυρο στο οποίο υπάρχουν επιλογές ρυθμίσεων οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο στήλες( αριστερά και δεξιά).

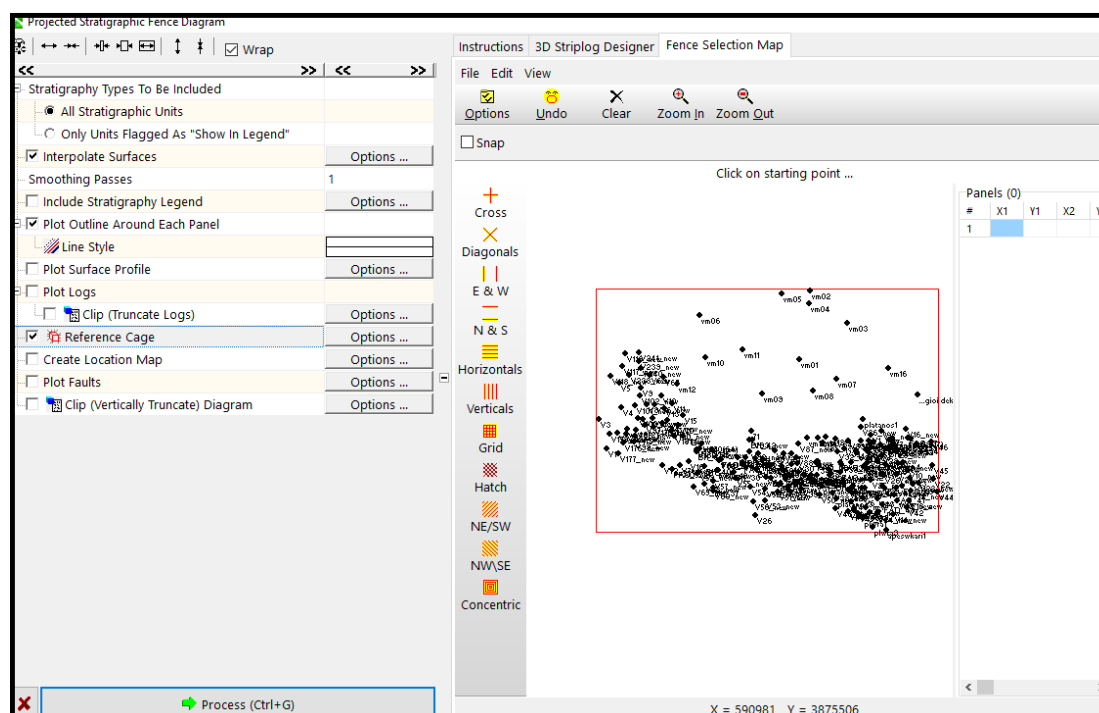


Εικόνα Π.49: Παράθυρο επιλογών εντολής Fence



Οι επιλογές αυτού του παραθύρου (Εικόνα Π.49) είναι οι παρακάτω:

- Interpolate Surfaces, είναι στην αριστερή πλευρά του παραθύρου και έχει ήδη αναφερθεί στο Model του κυρίως menu Stratigraphy.
- Include Stratigraphy Legend, με την ενεργοποίηση του εισάγεται στο μοντέλο υπόμνημα που περιλαμβάνει τους στρωματογραφικούς τύπους με τον αντίστοιχο συμβολισμό τους, όπως είναι ορισμένοι στο πεδίο Tables.
- Plot Logs, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Plot Surface Profile, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- Create Location Map, έχει ήδη αναφερθεί στην εντολή Profile του κυρίως menu Striplogs(2D Dimensional).
- 3D-Striplog Designer, η καρτέλα αυτή είναι στο δεξί μέρος του παραθύρου και έχει ήδη αναφερθεί κατά την εξήγηση της εντολής Profile στο κύριο menu Striplog.



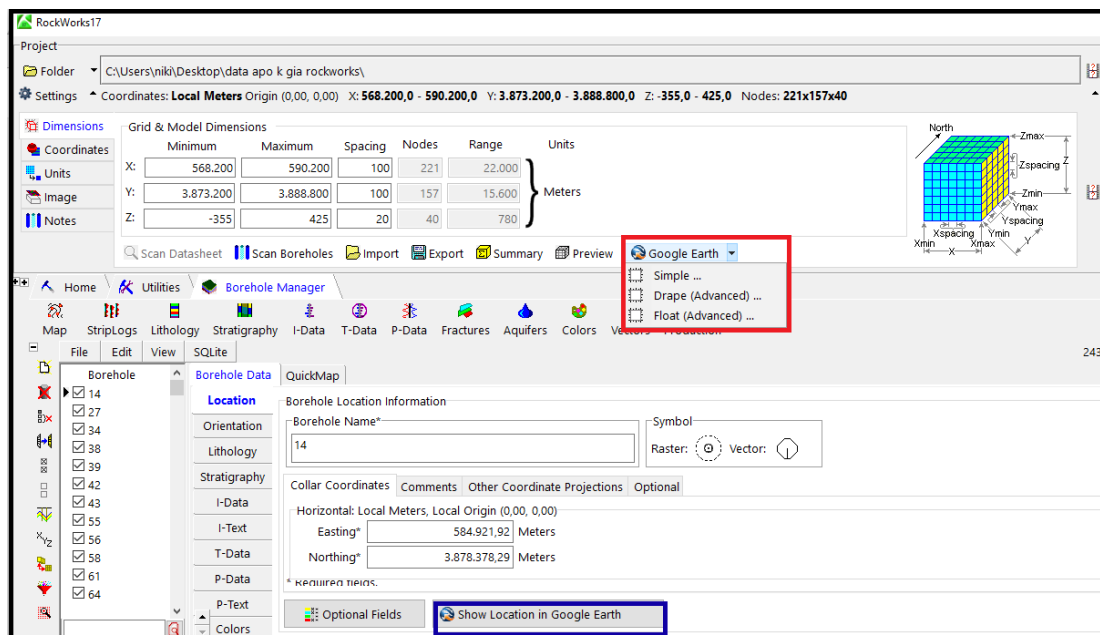
Εικόνα Π.50: Επιλογή Fence Selection Map

- Fence Selection Map, είναι και αυτή μια καρτέλα στο δεξί μέρος του παραθύρου και στην οποία εμφανίζεται ο χάρτης με τις διαθέσιμες γεωτρήσεις, στην οποία σχεδιάζεται η γραμμή του profile (Εικόνα Π.50).

Τέλος, αφού γίνουν οι πιο πάνω ρυθμίσεις και πατώντας το Process δημιουργούνται οι τρισδιάστατες τομές τύπου Fence.

## Π.11 Εντολή Google Earth

Στο λογισμικό Rocworks 17 παρέχεται η δυνατότητα χρήσης του Google Earth. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει με το Google Earth η ακριβής τοποθεσία του μοντέλου μελέτης με βάση τις ελάχιστες και μέγιστες συντεταγμένες που έχουν ορισθεί στην εντολή Dimensions (βλέπε Εικόνα Π.51- κόκκινο περίγραμμα). Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα εντοπισμού στο Google Earth της κάθε μιας γεώτρησης ή βυθοσκόπησης ξεχωριστά (βλέπε Εικόνα Π.51- μπλε περίγραμμα).



Εικόνα Π.51: Εντολή Google Earth

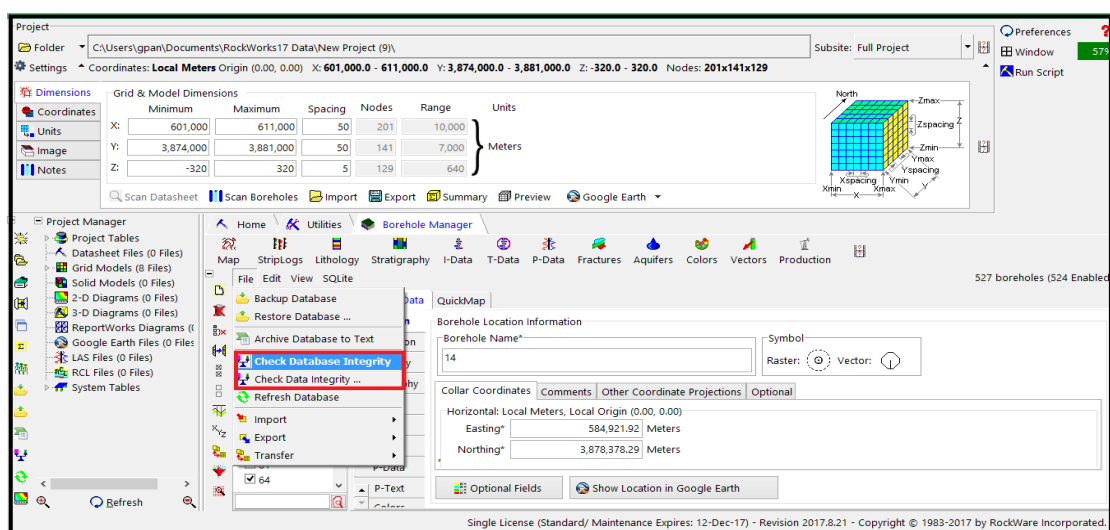
Στο λογισμικό οι συντεταγμένες που έχουν εισαχθεί στην παρούσα μελέτη έχουν διαφορετικό σύστημα αναφοράς ως προς αυτό που χρησιμοποιεί το Google Earth. Έτσι, για το σωστό εντοπισμό τόσο του μοντέλου μελέτης όσο και της κάθε μιας γεώτρησης ή βυθοσκόπησης θα πρέπει να χρησιμοποιείται το ίδιο σύστημα αναφοράς.

## Π.12. Menu File

Εδώ ανοίγεται ένα παράθυρο εντολών το οποίο παρέχει πολλές δυνατότητες κάποιες από τις οποίες είναι οι παρακάτω:

- Δημιουργία Backup δεδομένων
- Εισαγωγή και εξαγωγή των δεδομένων σε διάφορες μορφές στοιχείων
- Έλεγχος για τυχόν λάθη στα δεδομένα.

Η τελευταία δυνατότητα (Εικόνα Π.52) είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τον χρήστη αφού του δίνει τη δυνατότητα να ελέγξει για τυχόν λάθη στα δεδομένα. Έτσι, εάν υπάρχει κάπου λάθος τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα εντοπίζονται από αυτές τις δύο εντολές, Check Database integrity – Check data integrity. Ο χρόνος που χρειάζεται για αυτό τον έλεγχο είναι μερικά λεπτά και καθοδηγεί τον χρήστη στον εντοπισμό των λαθών.



Εικόνα Π.52: Menu File





